



**TUGAS AKHIR - RE 141581**

**STABILISASI/SOLIDIFIKASI LIMBAH B-3  
MENGANDUNG LOGAM BERAT DAN  
HIDROKARBON DENGAN SEMEN PORTLAND DAN  
FLY ASH**

Vilancia Chrislundi  
NRP 3311 100 066

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MappSc.

JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**FINAL PROJECT - RE 141581**

**STABILIZATION/SOLIDIFICATION OF  
HAZARDOUS WASTE CONTAINING HEAVY  
METALS AND HYDROCARBONS USING  
PORTLAND CEMENT AND FLY ASH**

Vilancia Chrislundi  
NRP 3311 100 066

Supervisor  
Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MappSc.

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

**LEMBAR PENGESAHAN  
STABILISASI/SOLIDIFIKASI LIMBAH B-3  
MENGANDUNG LOGAM BERAT DAN  
HIDROKARBON DENGAN SEMEN *PORTLAND* DAN  
*FLY ASH*  
TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana  
Pada  
Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**VILANCIA CHRISLUNDI**  
**NRP 3311 100 066**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :**



**Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, MAppSc**  
**NIP. 19530706 198403 2 004**

**SURABAYA, JANUARI 2015**



## ABSTRAK

### **Stabilisasi/Solidifikasi Limbah B-3 Mengandung Logam Berat dan Hidrokarbon dengan Semen *Portland* dan *Fly Ash***

Nama Mahasiswa : Vilancia Chrislundi  
NRP : 3311100066  
Jurusan : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Yulinah T., M.AppSc.

Proses stabilisasi/solidifikasi (S/S) menggunakan semen *portland* banyak digunakan untuk pengolahan limbah B3 yang mengandung logam berat. Penggunaan *fly ash* dapat mengurangi kebutuhan akan semen, sehingga dapat menurunkan biaya pengolahan. Zat organik berupa hidrokarbon yang seringkali terdapat dalam limbah B-3 dapat mengganggu proses S/S. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menentukan komposisi optimum campuran semen dan *fly ash* dalam proses S/S limbah B3 sintetik yang mengandung Cu, Cr(VI), dan Pb, (2) menganalisis pengaruh hidrokarbon terhadap mutu produk S/S.

Bahan baku S/S dicetak dalam cetakan berbentuk kubus berukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Variasi komposisi semen dan *fly ash* yang digunakan adalah 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, dan 60:40. Parafin sebagai unsur hidrokarbon ditambahkan pada komposisi campuran semen dan *fly ash* optimum dengan variasi kadar 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Mutu produk S/S diuji dengan uji kuat tekan, *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP), dan *paint filter test*.

Hasil penelitian menunjukkan komposisi optimum campuran semen : *fly ash* adalah 90:10. Komposisi tersebut memiliki nilai kuat tekan 3300 ton/m<sup>2</sup>, hasil uji TCLP Cu = 0,018 mg/L, Cr(VI) = 0,442 mg/L, dan Pb = 0,033 mg/L. Hasil *paint filter test* menunjukkan tidak ada cairan bebas yang keluar. Hasil uji TCLP tersebut telah memenuhi baku mutu. Penambahan parafin menunjukkan tidak ada pengaruh signifikan terhadap nilai kuat tekan, namun berpengaruh signifikan terhadap hasil uji TCLP.

**Kata kunci : *fly ash*, logam berat, semen *portland*, stabilisasi/solidifikasi**

## **ABSTRACT**

### **Stabilization/Solidification of Hazardous Waste Containing Heavy Metals and Hydrocarbons using Portland Cement and Fly Ash**

Name : Vilancia Chrislundi  
Student ID : 3311100066  
Department : Environmental Engineering  
Supervisor : Prof. Dr. Yulinah T., M.AppSc.

The stabilization/solidification (S/S) process using portland cement is widely known for treating hazardous waste containing heavy metals. Fly ash addition can reduce the need of cement in order to lower the processing costs. The S/S process can be disturbed by organic compounds which exist in the waste. This research aims to: (1) determine the optimum composition of cement and fly ash in the solidification of simulated wastewater containing copper, chromium (VI), and lead, (2) analyze the effect of paraffin as representative of organic matter on the S/S product quality.

Raw materials were molded in cubes of 5 cm x 5 cm x 5 cm size. Composition of type I portland cement and fly ash was varied to 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, and 60:4 ratios. Paraffin was added to the optimum composition of cement and fly ash in varied proportions of 2.5%, 5%, 7.5%, and 10%. The S/S product quality was measured using compressive strength, Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP), and paint filter tests.

Results of this research showed that the optimum composition of cement and fly ash was 90:10. The product had a compressive strength value of 3300 tons/m<sup>2</sup>, TCLP test results for copper, chromium (VI) and lead of 0.018, 0.442, and 0.033 mg/L respectively. The paint filter test resulted in no free liquid seeped out. All TCLP test results met the quality standards. Paraffin addition gave no significant effect on the compressive strength values, but affected the TCLP test results significantly.

**Key words: fly ash, hazardous waste, portland cement, stabilization/solidification**

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yesus Kristus karena anugerah dan kasih-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Stabilisasi/Solidifikasi Limbah Mengandung Logam Berat dan Hidrokarbon dengan Semen *Portland* dan *Fly Ash*” dengan baik. Penulis juga ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.AppSc. selaku dosen wali dan dosen pembimbing yang telah memberi ilmu, saran dan motivasi selama ini.
2. Bapak Welly Herumurti, ST, MSc. dan Bapak Arseto Yekti Bagastyo, ST., MT., MPhil., Ph.D selaku dosen penguji atas saran yang telah diberikan.
3. Ibu Masrullita atas dukungan materi dan motivasi yang telah diberikan selama pengerjaan proposal tugas akhir ini.
4. Kedua orangtua penulis atas dukungan materi, moral, motivasi dan doa yang telah diberikan.
5. Vicosta Christy dan Vierda Christiena yang telah memberi motivasi, semangat dan doa.
6. Para laboran dan teknisi laboratorium yang telah membantu proses peminjaman alat selama proses pengerjaan penelitian.
7. Ristra Megawati A.P. selaku partner saya yang selalu memberi semangat dan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
8. Sahabat-sahabat penulis atas doa dan motivasi yang telah diberikan.
9. Teman-teman angkatan 2011 atas kebersamaan dan motivasi selama ini.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis menerima kritik dan saran yang bersifat membangun sehingga penulisan dapat lebih baik lagi. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRACT.....	i
ABSTRAK.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang.....	1
1.2    Rumusan masalah.....	2
1.3    Tujuan.....	3
1.4    Manfaat.....	3
1.5    Ruang Lingkup.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1    Limbah B-3.....	5
2.2    Stabilisasi/Solidifikasi (S/S).....	8
2.3    Logam Berat.....	12
2.3.1    Tembaga (Cu).....	13
2.3.2    Kromium (Cr(VI)).....	14
2.4    Abu Terbang ( <i>Fly Ash</i> ).....	15
2.5    Semen <i>Portland</i> .....	17
2.6    Uji TCLP.....	20
2.7    Uji Kuat Tekan.....	21
2.8 <i>Paint Filter Test</i> .....	22
2.9    Proses Perawatan Mortar ( <i>Curing</i> ).....	22
2.10    Penelitian Terdahulu.....	23
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	27
3.1    Kerangka Penelitian.....	27
3.2    Tahapan Penelitian.....	30
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1    Karakteristik Material.....	39
4.1.1    Karakteristik Semen <i>Portland</i> Tipe1.....	39
4.1.2    Karakteristik <i>Fly Ash</i> .....	39
4.1.3    Karakteristik Limbah Larutan.....	40
4.3    Uji Konsistensi Normal.....	44
4.4    Uji Kuat Tekan.....	46
4.4.1    Uji Kuat Tekan tahap Pertama.....	46
4.4.2    Uji Kuat Tekan Tahap Kedua.....	51

4.5	Uji TCLP.....	54
4.5.1	Uji TCLP Logam Cu.....	55
4.5.2	Uji TCLP Logam Cr(VI).....	58
4.5.3	Uji TCLP Logam Pb.....	61
4.6	Uji <i>Paint Filter Test</i> .....	64
4.7	Pengaruh Hidrokarbon terhadap Mutu Produk S/S.....	65
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....		69
5.1	Kesimpulan .....	69
5.2	Saran .....	69
DAFTAR PUSTAKA.....		71
LAMPIRAN A PROSEDUR PENELITIAN .....		77
LAMPIRAN B DOKUMENTASI HASIL PENELITIAN.....		86



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Rancang bangunan pelapisan dasar <i>landfill</i> .....	11
Gambar 2. 2 Lapisan penutup akhir <i>landfill</i> kategori I, II, dan III. 12	
Gambar 2. 3 Peta sebaran PLTU di Indonesia .....	17
Gambar 2. 4 Mesin kuat tekan .....	21
Gambar 3.1 Kerangka penelitian.....	30
Gambar 3.2 Benda uji.....	34
Gambar 3.3 Reaktor penelitian tahap pertama.....	35
Gambar 3.4 Kerangka penelitian tahap kedua.....	35
Gambar 3.5 Mortar untuk uji kuat tekan.....	37
Gambar 4. 1 Limbah buatan $\text{CuSO}_4$ dan kristal $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .....	40
Gambar 4. 2 Limbah buatan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dan kristal $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .....	41
Gambar 4. 3 Limbah buatan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ dan kristal $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ .....	41
Gambar 4. 4 Grafik hubungan antara nilai kuat tekan tahap pertama dan densitas .....	48
Gambar 4. 5 Hasil uji TCLP logam Cu tanpa hidrokarbon .....	55
Gambar 4. 6 Hasil uji TCLP logam Cu dengan hidrokarbon .....	57
Gambar 4. 7 Hasil uji TCLP logam Cr(VI) tanpa hidrokarbon .....	59
Gambar 4. 8 Hasil uji TCLP logam Cr (VI) dengan hidrokarbon .....	60
Gambar 4. 9 Hasil uji TCLP logam Pb tanpa hidrokarbon .....	62
Gambar 4. 10 Hasil uji TCLP logam Pb dengan hidrokarbon .....	63
Gambar 4. 11 Perbandingan nilai kuat tekan antara komposisi optimum dengan penambahan hidrokarbon.....	65
Gambar 4. 12 Perbandingan hasil TCLP Cu antara komposisi optimum dengan penambahan hidrokarbon.....	66
Gambar 4. 13 Perbandingan hasil TCLP Cr (VI) antara komposisi optimum dengan penambahan hidrokarbon.....	67
Gambar 4. 14 Perbandingan hasil TCLP Pb antara komposisi optimum dengan penambahan hidrokarbon.....	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kadar maksimum limbah B-3 belum terolah dan kategori tempat pembuangannya .....	10
Tabel 2. 2 Kandungan kimia <i>fly ash</i> kelas C dan kelas F .....	16
Tabel 2. 3 Kandungan kimia (% berat) semen <i>portland</i> I .....	19
Tabel 2. 4 Baku mutu TCLP di Indonesia .....	20
Tabel 2. 5 Referensi penelitian terdahulu .....	24
Tabel 3. 1 Perbandingan (% berat) variasi pertama yang terdiri dari semen <i>portland</i> tipe I, <i>fly ash</i> , dan logam berat .....	32
Tabel 3. 2 Perbandingan (% berat) variasi kedua yang terdiri dari kondisi optimum tahap 1 dan hidrokarbon .....	33
Tabel 4. 1 Penambahan $\text{CuSO}_4$ , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , dan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ pada campuran semen dan <i>fly ash</i> .....	43
Tabel 4. 2 Hasil uji konsistensi normal semen dan <i>fly ash</i> .....	44
Tabel 4. 3 Hasil uji konsistensi normal semen, <i>fly ash</i> , dan hidrokarbon .....	46
Tabel 4. 4 Hasil kuat tekan tahap pertama .....	47
Tabel 4. 5 Hasil analisis ANOVA pengaruh semen dan <i>fly ash</i> terhadap nilai kuat tekan .....	50
Tabel 4. 6 Nilai kuat tekan tahap kedua .....	52
Tabel 4. 7 Nilai densitas dan porositas tahap kedua .....	53
Tabel 4. 8 Hasil analisis ANOVA pengaruh hidrokarbon terhadap nilai kuat tekan .....	54
Tabel 4. 9 Hasil analisis ANOVA pengaruh semen dan <i>fly ash</i> terhadap hasil TCLP logam Cu .....	56
Tabel 4. 10 Hasil analisis ANOVA pengaruh hidrokarbon terhadap hasil TCLP logam Cu .....	58
Tabel 4. 11 Hasil analisis ANOVA pengaruh semen dan <i>fly ash</i> terhadap hasil TCLP logam Cr (VI) .....	60
Tabel 4. 12 Hasil analisis ANOVA pengaruh hidrokarbon terhadap hasil TCLP logam Cr (VI) .....	61
Tabel 4. 13 Hasil analisis ANOVA pengaruh semen dan <i>fly ash</i> terhadap hasil TCLP logam Pb .....	63
Tabel 4. 14 Hasil analisis ANOVA pengaruh hidrokarbon terhadap nilai TCLP logam Pb .....	64
Tabel 4. 15 Hasil <i>Paint Filter Test</i> .....	64

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan industri di era globalisasi ini sangat didukung oleh kemajuan teknologi. Teknologi akan mempermudah pekerjaan manusia sebagai pelaksana kegiatan industri dan menjadi daya dukung yang dominan bagi dunia industri (Sasongko dan Tresna, 2010). Selain memberikan manfaat, perkembangan industri yang sangat pesat ini juga menimbulkan dampak negatif dari limbah yang dihasilkan (Nurhasni dkk, 2013). Sebagian besar, limbah industri tergolong dalam kategori Bahan Berbahaya dan Beracun atau limbah B3 (Utomo dan Laksono, 2007) karena banyak mengandung logam berat seperti nikel, merkuri, tembaga, krom, timbal, seng, dan logam berat lainnya (Suprihatin, 2009).

Sudarmaji, dkk (2006) menyatakan bahwa timbal (Pb) banyak dihasilkan dari industri cat dan bahan pewarna. Senyawa Pb dapat meracuni tubuh manusia baik secara akut maupun kronis. Logam lain yang memiliki sifat toksisitas yaitu kromium (Cr(VI)). Senyawa Cr(VI) dalam tubuh manusia akan mengganggu saluran pernafasan, kulit, pembuluh darah, dan ginjal. Logam berat tembaga (Cu) berbeda dengan Cr(VI) dan Pb karena Cu masih dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah sedikit. Toksisitas Cu akan bekerja di dalam tubuh manusia apabila dalam jumlah yang besar. Umumnya, logam Cu, Cr(VI), dan Pb dapat menimbulkan pencemaran apabila langsung dibuang ke lingkungan dalam jumlah yang besar. Menurut Paria dan Yuet (2006), kadar logam berat dapat diturunkan pada limbah B-3 dengan stabilisasi/solidifikasi (S/S).

Utomo (2008) menyatakan bahwa S/S limbah menggunakan semen merupakan salah satu alternatif pengolahan limbah yang mudah dan hasilnya aman bagi lingkungan. Menurut Leonard dan Stegemann (2010), proses S/S kurang sesuai untuk limbah yang mengandung zat organik berupa hidrokarbon. Hal ini disebabkan hidrokarbon dapat mengganggu proses pengerasan produk S/S. *Pozzolan* dapat membantu pengerasan proses S/S limbah mengandung hidrokarbon. Penambahan bahan pengikat dalam proses S/S dapat meningkatkan hasil kuat tekan dan mengikat logam berat (Yilmaz dkk, 2003). Bahan-bahan pengikat

yang biasa digunakan dalam proses S/S, antara lain kapur, natrium silika, kalsium klorida, dan *fly ash* (Singhal dkk, 2012).

*Fly ash* banyak diproduksi oleh industri-industri besar yang membutuhkan bahan bakar seperti PLTU, industri semen, karet dan lain-lain (Afrianita dkk, 2010). PLTU di Indonesia tersebar di beberapa pulau, seperti Sumatera, Jawa, Kalimantan, dan sebagainya (Aziz dkk, 2006). Produksi *fly ash* di Indonesia dari pembangkit listrik terus meningkat, dimana pada tahun 2000 jumlahnya mencapai 1,66 juta ton dan diperkirakan mencapai 2 juta ton pada tahun 2006 (Ardha dkk, 2006). Besarnya jumlah *fly ash* yang terus bertambah dari tahun ke tahun harus diseimbangi dengan penanganan yang tepat sebelum dibuang ke badan lingkungan.

*Fly ash* memiliki sifat *pozzolanic* dan mempunyai kehalusan yang sama dengan semen, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengisi sekaligus bahan pengikat untuk bahan bangunan (Dermawan, 2010). Penambahan 7,5% TSLs (*Treated Spent Liquor Sludge*) dan *fly ash* 15 % sebagian pengganti semen pada proses S/S lumpur dari industri *stainless steel* dapat meningkatkan pembentukan gel C-S-H (Singhal dkk, 2012). Berdasarkan hasil penelitian Munir (2008), *fly ash* berguna untuk meningkatkan kuat tekan pada pembuatan *hollow block*. Hal ini terlihat dari peningkatan kuat tekan produk batako dengan penambahan *fly ash* 5% dan 10%. *Fly ash* banyak digunakan karena memiliki harga yang relatif murah. Penggunaan *fly ash* ini berfungsi sebagai *pozzolan* alam, yang dicampur menjadi satu dengan adonan semen. *Fly ash* dapat mengikat logam berat yang terkandung dalam limbah B-3. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menganalisis komposisi optimum campuran semen dan *fly ash* dalam proses S/S limbah mengandung tembaga (Cu), kromium (Cr(VI)), dan timbal (Pb). Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis pengaruh hidrokarbon terhadap produk S/S.

## **1.2 Rumusan masalah**

Rumusan masalah yang mendasari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana komposisi optimum campuran semen *portland* dan *fly ash* dalam proses S/S limbah yang mengandung logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb?

2. Bagaimana pengaruh zat organik berupa hidrokarbon terhadap mutu produk S/S?

### **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan komposisi optimum antara semen dan *fly ash* yang digunakan dalam proses S/S industri yang mengandung logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb.
2. Menentukan pengaruh zat organik berupa hidrokarbon pada mutu produk S/S.

### **1.4 Manfaat**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan alternatif pengolahan limbah mengandung logam berat.
2. Memberikan pengetahuan mengenai alternatif penggunaan *fly ash* dan penerapan proses S/S.
3. Memberikan pengetahuan mengenai pengaruh hidrokarbon pada kualitas produk S/S.

### **1.5 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium.
2. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Padat dan B-3 Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS.
3. Pengujian mutu produk S/S dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan teknik Sipil, FTSP-ITS.
4. Limbah yang digunakan berupa limbah larutan Cu, Cr(VI), dan Pb serta limbah buatan hidrokarbon berupa parafin p.a.
5. Uji yang dilakukan dalam proses S/S, yaitu uji kuat tekan, uji TCLP, dan *paint filter test*.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Limbah B-3**

Menurut Peraturan Pemerintah RI no 18 tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun Pasal 1 Ayat 2, limbah B-3 adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat dan/atau konsentrasinya dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusakkan lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain. USEPA (2005) juga menyatakan bahwa limbah B-3 adalah kumpulan limbah padat yang karena kuantitas, konsentrasi, atau karakteristiknya, dapat menyebabkan penyakit atau berbahaya terhadap kesehatan manusia serta lingkungan ketika tidak diolah secara benar.

Limbah B-3 memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda dengan limbah pada umumnya, terutama karena sifatnya yang tidak stabil (Yuliani, 2011). PP RI no 18 tahun 1999 Pasal 8 menyatakan bahwa limbah yang dikategorikan sebagai limbah B-3 adalah limbah yang setelah melalui pengujian memiliki salah satu atau lebih karakteristik sebagai berikut: mudah meledak, mudah terbakar, bersifat reaktif, beracun, menyebabkan infeksi, dan bersifat korosif. Klasifikasi karakteristik limbah B-3 ini diperlukan untuk mempermudah akan penanganannya (Khan dan Shrivastava, 2012).

Karakteristik yang dimaksudkan dalam PP RI no 18 tahun 1999 Pasal 8, selanjutnya dijelaskan dalam PP RI no 85 tahun 1999 pasal 7 ayat 3 sebagai berikut:

1. Limbah mudah meledak adalah limbah yang pada suhu dan tekanan, standar (25<sup>0</sup> C, 760 mmHg) dapat meledak atau melalui reaksi kimia dan atau fisika dapat menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi yang dengan cepat dapat merusak lingkungan sekitarnya.
2. Limbah mudah terbakar adalah limbah-limbah yang mempunyai salah satu sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Limbah yang berupa cairan yang mengandung alkohol kurang dari 24 % volume dan atau pada titik nyala tidak lebih dari 60° C (140° F) akan menyala apabila terjadi kontak dengan api, percikan api atau sumber nyala lain pada tekanan udara 760 mmHg.
  - b. Limbah yang bukan berupa cairan, yang pada temperatur dan tekanan standar (25° C, 760 mmHg) dapat mudah menyebabkan kebakaran melalui gesekan, penyerapan uap air atau perubahan kimia secara spontan dan apabila terbakar dapat menyebabkan kebakaran yang terus menerus.
  - c. Merupakan limbah yang bertekanan yang mudah terbakar.
  - d. Merupakan limbah pengoksidasi.
3. Limbah yang bersifat reaktif adalah limbah-limbah yang mempunyai salah satu sifat-sifat sebagai berikut:
- a. Limbah yang pada keadaan normal tidak stabil dan dapat menyebabkan perubahan tanpa peledakan.
  - b. Limbah yang dapat bereaksi hebat dengan air.
  - c. Limbah yang apabila bercampur dengan air berpotensi menimbulkan ledakan, menghasilkan gas, uap atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan bagi kesehatan manusia dan lingkungan.
  - d. Merupakan limbah sianida, sulfida atau amoniak yang pada kondisi pH antara 2 dan 12,5 dapat menghasilkan gas, uap atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan.
  - e. Limbah yang dapat mudah meledak atau bereaksi pada suhu dan tekanan standar (25° C, 760 mmHg).
  - f. Limbah yang menyebabkan kebakaran karena melepas atau menerima oksigen atau limbah organik peroksida yang tidak stabil dalam suhu tinggi.
4. Limbah beracun adalah limbah yang mengandung pencemar yang bersifat racun bagi manusia atau lingkungan yang dapat menyebabkan kematian atau sakit yang serius apabila masuk ke dalam tubuh melalui pernafasan, kulit atau mulut.
- Penentuan sifat racun untuk identifikasi limbah ini dapat menggunakan baku mutu konsentrasi TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) pencemar organik dan anorganik dalam limbah sebagaimana yang tercantum dalam

Lampiran II Peraturan Pemerintah ini. Apabila limbah mengandung salah satu pencemar yang terdapat dalam Lampiran II Peraturan Pemerintah ini, dengan konsentrasi sama atau lebih besar dari nilai dalam Lampiran II Peraturan Pemerintah ini, maka limbah tersebut merupakan limbah B3. Bila nilai konsentrasi zat pencemar lebih kecil dari nilai ambang batas pada Lampiran II Peraturan Pemerintah ini maka dilakukan uji toksikologi.

5. Limbah yang menyebabkan infeksi yaitu bagian tubuh manusia yang diamputasi dan cairan dari tubuh manusia yang terkena infeksi, limbah dari laboratorium atau limbah lainnya yang terinfeksi kuman penyakit yang dapat menular. Limbah ini berbahaya karena mengandung kuman penyakit seperti hepatitis dan kolera yang ditularkan pada pekerja, pembersih jalan dan masyarakat di sekitar lokasi pembuangan limbah.
6. Limbah bersifat korosif adalah limbah yang mempunyai salah satu sifat sebagai berikut:
  - a. Menyebabkan iritasi (terbakar) pada kulit.
  - b. Menyebabkan proses pengkaratan pada lempeng baja (SAE 1020) dengan laju korosi lebih besar dari 6,35 mm/tahun dengan temperatur pengujian 55<sup>0</sup> C.
  - c. Mempunyai pH sama atau kurang dari 2 untuk limbah bersifat asam dan sama atau lebih besar dari 12,5 untuk yang bersifat basa.

Pengenalan akan setiap karakteristik dari limbah B-3 akan menentukan pengolahan yang sesuai dengan jenis limbah B-3 tersebut. Menurut Trihadiningrum (2000), tujuan dari pengolahan limbah adalah menurunkan kadar kontaminan yang terdapat pada limbah, sehingga limbah tersebut aman untuk dibuang ke lingkungan. Beberapa jenis pengolahan limbah B-3 yang dapat dilakukan adalah:

1. Netralisasi
2. Presipitasi/Pengendapan
3. Stabilisasi/Solidifikasi
4. Adsorpsi
5. Pertukaran ion
6. Proses biologis



## 2.2 Stabilisasi/Solidifikasi (S/S)

Secara umum S/S didefinisikan sebagai proses pencampuran bahan berbahaya dengan bahan tambahan (aditif) dengan tujuan untuk menurunkan laju migrasi dan toksisitas bahan berbahaya tersebut. Sedangkan solidifikasi didefinisikan sebagai proses pemadatan suatu bahan berbahaya dengan penambahan aditif. Kedua proses tersebut seringkali terkait sehingga sering dianggap mempunyai arti yang sama. Malviya dan Chaudhary (2006) menyatakan bahwa S/S merupakan proses pengolahan yang tepat untuk setiap limbah industri yang mengandung logam berat sebelum dibuang ke *landfill*.

Menurut Trihadiningrum (2000), terdapat beberapa jenis proses S/S yang banyak digunakan, yaitu:

### 1. S/S dengan Semen

Proses ini banyak digunakan untuk mengikat berbagai logam berat yang terdapat dalam limbah B-3. Jenis semen yang umumnya digunakan adalah semen *portland*. Keuntungan dari proses ini adalah tidak memerlukan biaya yang mahal, prosesnya mudah dilakukan, sifat basa dari semen dapat menetralkan limbah asam dan membentuk garam karbonat dan hidroksida dari logam berat, dan tidak memerlukan proses pengeringan yang ekstensif.

### 2. Vitrifikasi

Vitrifikasi merupakan proses pencairan dan peleburan untuk bahan yang mengandung silikat pada suhu lebih dari  $1600^{\circ}\text{C}$ , yang selanjutnya diikuti dengan pendinginan yang cepat. Produk dari proses ini berupa kristal silikat yang bersifat amorf dalam bentuk gelas. Penggunaan proses ini terbatas pada remediasi lahan yang terkontaminasi.

### 3. Absorpsi

Proses ini dapat mengikat logam berat yang terdapat pada limbah B-3. Bahan-bahan adsorben yang sering digunakan adalah lempung, sekam dan jerami, serbuk gergaji, tanah, abu terbang, dan abu dari insinerator. Bahan adsorben yang memiliki sifat pozzolanik dapat digunakan untuk jangka waktu yang lama.

### 4. Kapsulasi Termoplastik

Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan campuran bahan termoplastik dengan limbah yang telah dikeringkan

pada suhu 1000<sup>0</sup> C, yang diikuti dengan pendinginan. Bahan termoplastik merupakan bahan plastik yang dapat meleleh jika dipanaskan dan mengeras jika didinginkan. Contoh dari bahan termoplastik adalah aspal, bitumen, *polyethylene*, *polypropylene*, dan *nylon*.

#### 5. Kapsulasi Makro

Kapsulasi makro merupakan proses dimana setiap limbah B-3 dibungkus dalam kapsul pembungkus yang bersifat inert dan kedap air. Bahan pembungkus dapat berupa fiberglass, resin epoksida, dan resin polyurethane. Campuran tersebut akan disemprotkan ke dinding container limbah, yang nantinya akan membentuk jaket yang berfungsi melindungi limbah tersebut dari pelindian dan tekanan-tekanan mekanik.

Prinsip kerja dari proses S/S adalah pengubahan watak fisik dan kimiawi limbah B-3 dengan cara penambahan senyawa pengikat sehingga pergerakan senyawa-senyawa B-3 dapat dihambat dan membentuk ikatan massa monolit dengan struktur yang kuat (*massive*). Tata cara kerja stabilisasi/ solidifikasi adalah sebagai berikut (Trihadiningrum, 2000):

1. Limbah B-3 harus dianalisis karakteristik-nya guna menentukan komposisi bahan-bahan yang diperlukan pada proses S/S.
2. Setelah dilakukan S/S, dilakukan uji TCLP untuk mengukur konsentrasi parameter dalam lindi. Hasil uji TCLP tidak boleh melebihi nilai ambang batas sebagaimana ditetapkan oleh BAPEDAL.
3. Kemudian terhadap hasil olahan tersebut selanjutnya dilakukan uji kuat tekan (*Compressive Strength*). Hasil uji tekan harus mempunyai nilai tekanan minimum sebesar 10 ton/m<sup>2</sup> dan lolos uji *paint filter test*.
4. Hasil olahan S/S yang telah memenuhi persyaratan kadar TCLP dan nilai uji kuat tekan, dan *paint filter test* harus ditimbun di *landfill* B-3.

Utomo dan Laksono (2007) menyatakan bahwa proses solidifikasi/stabilisasi (S/S) didesain untuk mengakomodasikan salah satu atau lebih dari tujuan berikut:

- a. Menurunkan kelarutan kontaminan.
- b. Meningkatkan efisiensi penanganan limbah dengan cara menciptakan suatu padatan yang bebas air.

- c. Menurunkan luas muka limbah dengan cara mentransfer kontaminan yang terdapat dalam padatan limbah.

Keberhasilan dari tujuan dari proses S/S dapat ditentukan dengan cara melakukan uji standard. Tiga hal yang umumnya dilakukan dalam pengujian proses S/S adalah:

- a. Fisik, mencakup kelembaban, kerapatan, kepadatan, kekuatan dan daya tahan.
- b. Kimiawi, mencakup pH, reaksi redoks, kapasitas penetralan asam, kebasaan, dan kandungan senyawa organik.
- c. Peluluhan, mencakup TCLP, prosedur ekstraksi bertingkat, peluluhan dinamis prosedur peluluhan pengendapan asam sintetis (SPLP, *Synthetic Acid Precipitation Leaching Procedure*) dan ekstraksi berurutan.

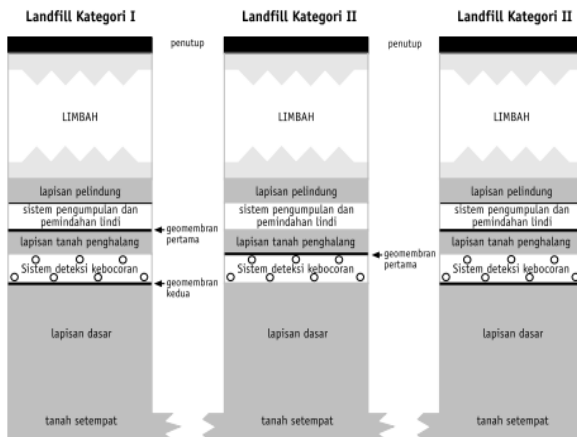
Menurut Leonard dan Stegemann (2010), proses S/S kurang sesuai untuk limbah yang mengandung zat organik berupa hidrokarbon. Proses S/S dengan penggunaan TPH lebih dari 10% akan menghasilkan lindi (Minocha dkk, 2003). Apabila penggunaan TPH lebih dari 10% sebaiknya dilakukan pengolahan *refinery* karena dapat meningkatkan nilai ekonomis (Zhang dkk, 2012). Setiap produk hasil proses S/S ini harus ditimbun di tempat penimbunan (*landfill*) B-3 yang disesuaikan dengan kadar limbah B-3 tersebut. Berdasarkan keputusan kepala BAPEDAL No 04 Tahun 1995, ditentukan kadar maksimum limbah B-3 belum terolah dan kategori tempat pembuangannya (dapat dilihat pada Tabel 2.1) dan rancang bangunan pelapisan dasar *landfill* (dapat dilihat pada Gambar 2.1).

Tabel 2. 1 Kadar maksimum limbah B-3 belum terolah dan kategori tempat pembuangannya

Bahan Pencemar	Total Kadar Maksimum (mg/kg berat kering)	Total Kadar Maksimum (mg/kg berat kering)
	Kolom A	Kolom B
Kromium	2500	250
Tembaga	1000	100
Timbal	3000	300

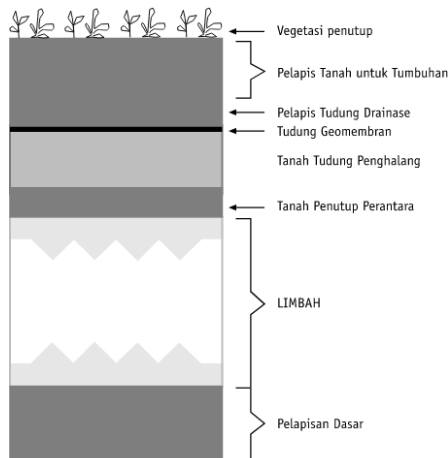
Bahan Pencemar	Total Kadar Maksimum (mg/kg berat kering)	Total Kadar Maksimum (mg/kg berat kering)
Catatan:	Lebih besar dari atau sama dengan tempat penimbunannya di landfill kategori I. Lebih kecil dari tempat penimbunannya di landfill kategori II	Lebih kecil dari atau sama dengan tempat penimbunannya di landfill kategori III

Sumber : Keputusan Kepala BAPEDAL No 04 Tahun 1995



Gambar 2. 1 Rancang bangunan pelapisan dasar *landfill*

Sumber : Keputusan Kepala BAPEDAL No 04 Tahun 1995



Gambar 2. 2 Lapisan penutup akhir *landfill* kategori I, II, dan III

Sumber : Keputusan Kepala BAPEDAL No 04 Tahun 1995

### 2.3 Logam Berat

Logam berat merupakan unsur-unsur yang memiliki sifat toksik bagi makhluk hidup, yang sering digunakan oleh industri dalam proses produksi. Istilah logam berat diberikan pada semua jenis logam yang memiliki berat jenis lebih besar atau sama dengan  $5 \text{ g/cm}^3$  (Apriliani, 2010). Elemen logam berat umumnya tidak dapat didegradasi maupun dihancurkan. Logam berat menjadi berbahaya akibat sistem bioakumulasi, yaitu peningkatan konsentrasi unsur kimia didalam tubuh makhluk hidup. Logam berat dapat menimbulkan efek gangguan kesehatan pada manusia, yang bergantung pada dosis yang masuk ke dalam tubuh dan bagian tubuh yang terikat oleh logam berat.

Logam berat dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui makanan, air minum, atau udara. Berdasarkan sudut pandang toksikologi, logam berat dibagi 2 jenis, yaitu logam berat esensial dan non esensial. Logam berat berat esensial adalah logam yang dibutuhkan oleh organisme hidup dalam jumlah tertentu, namun dalam jumlah berlebihan dapat menimbulkan efek

racun. Jenis kedua yaitu logam berat non esensial dapat diartikan sebagai logam berat yang belum diketahui manfaatnya atau bahkan dapat bersifat racun dalam tubuh organisme hidup (Apriliani, 2010). Beberapa logam berat yang dapat mencemari lingkungan dan bersifat toksik adalah krom (Cr(VI)), perak (Ag), kadmium (Cd), timbal (Pb), seng (Zn), merkuri (Hg), tembaga (Cu), besi (Fe), molibdat (Mo), nikel (Ni), timah (Sn), dan kobalt (Co) (Purwaningsih, 2009).

### 2.3.1 Tembaga (Cu)

Tembaga dengan nama kimia *cupprum* dilambangkan dengan Cu. Unsur logam ini berbentuk kristal dengan warna kemerahan. Tabel periodik unsur-unsur kimia menunjukkan bahwa tembaga berada pada posisi dengan nomor atom (NA) 29 dan mempunyai bobot atau berat atom (BA) 65,37 (Ariansyah dkk, 2012). Cu ditemukan secara alami dalam bentuk batu pasir dan mineral. Menurut Martuti (2012), logam berat Cu digolongkan kedalam logam berat esensial, artinya meskipun Cu merupakan logam berat beracun, tetapi dibutuhkan oleh tubuh dalam jumlah sedikit.

Menurut Apriliani (2010), senyawa-senyawa yang dibentuk oleh logam Cu mempunyai bilangan valensi +1 dan +2. Kedua jenis ion Cu tersebut dapat membentuk ion kompleks seperti  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_6\text{Cl}_2$ . Tembaga (Cu) juga dapat membentuk *alloy* dengan berbagai logam lainnya, seperti seng, timah atau timbal.

Setyowati dkk (2006) menyatakan bahwa toksisitas yang dimiliki Cu baru akan bekerja bila telah masuk ke dalam tubuh organisme dalam jumlah yang besar. Peningkatan kadar tembaga dalam tanah umumnya disebabkan oleh penggunaan pupuk, penggunaan pestisida, bahan bangunan, pembuatan rayon, limbah pertanian dan kota, dan emisi dari industri (Paria dan Yuet, 2006). Logam Cu yang masuk ke dalam tatanan lingkungan perairan dapat terjadi secara alamiah maupun sebagai efek samping dari kegiatan manusia. Secara alamiah Cu masuk ke dalam perairan dari peristiwa erosi, pengikisan batuan ataupun dari atmosfer yang dibawa turun oleh air hujan. Beberapa aktifitas manusia seperti kegiatan industri, pertambangan Cu, maupun industri galangan kapal beserta mempercepat terjadinya peningkatan kelarutan Cu dalam perairan.

### 2.3.2 Kromium (Cr(VI))

Cr(VI) merupakan contoh dari logam berat yang dilambangkan dengan Cr(VI) dan memiliki sifat sebagai berikut :

- Nomor atom = 24
- Berat atom = 51,996
- Golongan = VI B
- Titik didih = 2199<sup>0</sup> C
- Titik leleh = 1765<sup>0</sup> C
- Kerapatan = 7,19 g/mL
- Valensi = 1 - 6

Berdasarkan pada sifat-sifat kimianya, logam Cr memiliki bilangan oksidasi +2, +3, dan +6. Sesuai dengan tingkat valensi yang berbeda, ion-ion kromium yang telah membentuk senyawa, memiliki sifat yang berbeda-beda. Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr(II) akan bersifat basa, senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr(III) bersifat amfoter, dan Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr(VI) akan bersifat asam (Apriliani, 2010).

Logam Cr murni tidak ditemukan di alam secara bebas, tetapi berkaitan dengan logam lain membentuk senyawa padat atau dalam bentuk mineral. Sebagai bahan mineral, Cr(VI) paling banyak ditemukan dalam bentuk kromit ( $\text{FeOCr}_2\text{O}_3$ ).

### 2.3.3 Timbal (Pb)

Timbal atau *plumbum* lebih dikenal dengan timah hitam merupakan logam yang lunak dan tahan terhadap korosi atau karat sehingga logam timbal sering digunakan sebagai bahan *coating* atau bahan pelapis. Senyawa Pb dapat berada dalam badan perairan secara alamiah dan sebagai dampak terhadap aktivitas manusia. Pb dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Pb yang masuk ke dalam badan perairan sebagai dampak aktivitas manusia diantaranya adalah air buangan industri yang mengandung logam Pb, misalnya pertambangan bijih timah hitam dan buangan sisa industri baterai (Apriliani, 2010).

Senyawa Pb yang berada di perairan dapat ditentukan dalam bentuk ion-ion tetravalen ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{4+}$ ). Ion Pb tetravalen mempunyai daya racun lebih tinggi bila dibandingkan dengan ion Pb divalen. Timbal merupakan logam berat yang sangat beracun,

dapat dideteksi secara praktis pada seluruh benda mati di lingkungan dan seluruh sistem biologis. Apabila konsentrasi Pb dalam badan perairan mencapai 188 mg/L dapat membunuh ikan-ikan.

Komponen ini beracun terhadap seluruh aspek kehidupan (Widaningrum dkk, 2007). Pb dapat merusak jaringan saraf, fungsi ginjal, sistem reproduksi, sistem endokrin dan jantung, serta gangguan pada otak. Secara kronis, Pb dapat mengakibatkan kelelahan lesu, gangguan iritabilitas, kehilangan libido, infertilitas pada laki-laki, gangguan menstruasi, depresi, sakit kepala, sulit berkonsentrasi, daya ingat terganggu, dan sulit tidur (Apriliani, 2010).

## **2.4 Abu Terbang (*Fly Ash*)**

Menurut Rusyandi dkk (2012), *fly ash* adalah suatu hasil samping yang diperoleh dari pembakaran batubara di pusat-pusat tenaga listrik modern. *Fly ash* merupakan material berbentuk bubuk yang sangat halus, dimana komponen yang terbanyak adalah silika yang sebagian besar berbentuk butir-butir bulat. *Fly ash* terdiri dari silikon dioksida ( $\text{SiO}_2$ ), alumunium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) (Marzuki dan Jogaswara, 2007).

ASTM (*American Standard Testing and Material*) C618 (1994) menyatakan bahwa *fly ash* terbagi menjadi dua kelas, yaitu:

1. *Fly ash* kelas F. *Fly ash* kelas ini diproduksi dari pembakaran batu bara antrasit dan bituminus. *Fly ash* ini terdiri dari bahan yang mengandung silika dan alumina, yang bila berada sendiri tidak mengandung nilai, tetapi dalam bentuk halus dan dengan adanya kelembaban, akan beraksi kimia dengan kalsium hidroksida pada temperatur biasa untuk membentuk senyawa-senyawa yang bersifat semen.
2. *Fly ash* kelas C. *Fly ash* kelas ini diproduksi secara normal dari batu bara lignit dan sub-bituminus dan biasanya mengandung kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) atau kapur dalam jumlah signifikan. *Fly ash* kelas ini, disamping memiliki sifat *pozzolan*, juga memiliki sifat semen. Kandungan kapur dalam *fly ash* dapat terlihat dari sifat fisik warnanya. Umumnya warna yang lebih muda mengindikasikan kandungan kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) yang tinggi sedangkan warna yang lebih tua menunjukkan kandungan organik yang tinggi (Marzuki dan Jogaswara, 2007).



Kandungan kimia yang terdapat dalam kedua jenis *fly ash* tersebut dapat terlihat pada Tabel 2.2. Pada tabel tersebut dapat terlihat jelas kandungan CaO yang dimiliki *fly ash* kelas C lebih tinggi daripada kelas F.

Tabel 2. 2 Kandungan kimia *fly ash* kelas C dan kelas F

Jenis Kandungan	Berat Kandungan (%) <i>Fly Ash</i> Kelas C	Berat Kandungan (%) <i>Fly Ash</i> Kelas F
Kandungan SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (min)	50	70
Kandungan sulfur trioksida (SO <sub>3</sub> )	5	5
CaO	>10	<10
Hilang pijar	6	6

Sumber: ASTM C618 (1994)

Kadar SiO<sub>2</sub> dari *fly ash* akan bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)<sub>2</sub>) yang merupakan hasil hidrasi antara air dengan semen. Reaksi antara kedua senyawa tersebut akan menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang berfungsi sebagai perekat (Shalahuddin, 2009). Secara umum reaksi tersebut dapat ditulis seperti berikut:

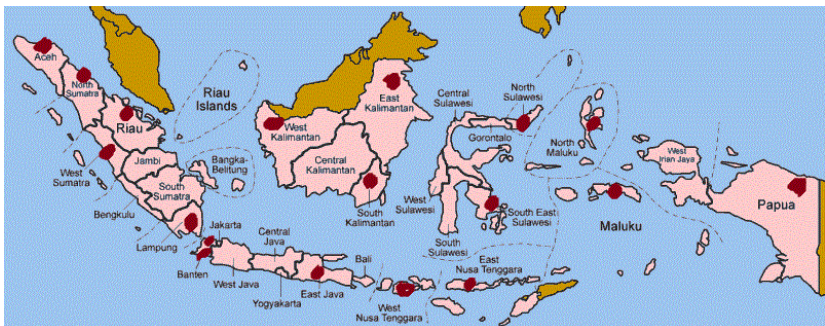
$\text{Ca(OH)}_2 + \text{SiO}_2 \longrightarrow \text{CaO} \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ ; dimana nilai x, y, dan z adalah ekuivalensi.

Penambahan *fly ash* pada proses S/S dapat mempengaruhi nilai kuat tekan benda uji. Berdasarkan penelitian Mughnie (2010), penggunaan *fly ash* 30% menghasilkan nilai uji kuat tekan paling besar dibandingkan penggunaan *fly ash* 15% dan 20%. Perkembangan kekuatan beton menggunakan *fly ash* pada umur 28 hari ke atas sangat besar. Hal ini terjadi karena proses hidrasinya yang lambat. (Mughnie, 2010).

Keuntungan lain dari penggunaan *fly ash* yaitu: (1) mengurangi terjadinya *bleeding*, (2) mengurangi jumlah panas hidrasi yang terjadi, (3) mengurangi jumlah air campuran. Keberadaan dari *fly ash* juga mudah ditemukan. Lokasi sebaran dan kapasitas PLTU

dapat dilihat pada Gambar 2.3. Menurut Aziz dkk (2006), PLTU yang menghasilkan *fly ash* ditemukan di berbagai pulau di Indonesia, yaitu:

- 1 PLTU di Aceh
- 2 PLTU di Sumatera
- 2 PLTU di Bangka Belitung
- 2 PLTU di Kepulauan Riau
- 7 PLTU di Jawa
- 1 PLTU di Lampung
- 4 PLTU di Kalimantan
- 3 PLTU di Sulawesi
- 1 PLTU di Gorontalo
- 2 PLTU di Maluku
- 2 PLTU di NTB
- 2 PLTU di NTT
- 2 PLTU di Papua



Gambar 2. 3 Peta sebaran PLTU di Indonesia  
Sumber: Aziz dkk (2006)

## 2.5 Semen *Portland*

Semen *Portland* merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (SNI 15-2049-2004). Semen dapat diartikan sebagai bahan pengikat yang diperoleh dari pembakaran bersama

pada temperatur tinggi ( $1400^{\circ}\text{C}$ ), dicampur setelah di *crushing* yang menghasilkan klinker bubuk halus. Sifat-sifat dari variasi semen tergantung dari komposisi kimia.

Berdasarkan SNI 15-2049-2004 ditinjau dari segi penggunaannya, semen *portland* dibagi menjadi 5 jenis, yaitu:

a. Semen *Portland* Jenis I

Sebutan lain dari semen jenis pertama ini adalah *Ordinary Portland Cement*. Jenis semen ini dipakai untuk segala macam konstruksi tanpa sifat khusus. *Ordinary Portland Cement* memiliki kandungan 59,3%  $\text{C}_3\text{S}$ , 17%  $\text{C}_2\text{S}$ , 8%  $\text{C}_3\text{A}$ , dan 11,9%  $\text{C}_4\text{AF}$ .

b. Semen *Portland* Jenis II

Sebutan lain dari semen jenis II ini adalah *Moderat Heat Portland Cement*. Jenis semen ini dipakai untuk segala macam konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang. Biasanya jenis semen ini digunakan untuk daerah pelabuhan dan bangunan sekitar pantai. Batasan kandungan sulfat yang direkomendasikan (sebagai  $\text{SO}_3$ ) adalah 0,8 – 0,17 ppm. *Moderat Heat Portland Cement* memiliki kandungan 8%  $\text{C}_3\text{A}$  dan 11,9%  $\text{C}_4\text{AF}$ .

c. Semen *Portland* Jenis III

Sebutan lain dari semen jenis III ini adalah *High Early Portland Cement*. Semen ini digunakan pada pengecoran untuk keadaan khusus musim dingin dan produksi beton tekan. Semen jenis III ini mempunyai kandungan  $\text{C}_3\text{S}$  lebih tinggi dibanding semen jenis lainnya sehingga lebih cepat mengeras dan lebih cepat mengeluarkan kalor. *High Early Portland Cement* memiliki kandungan 35%  $\text{C}_3\text{S}$ , 40%  $\text{C}_2\text{S}$ , dan 15%  $\text{C}_3\text{A}$ .

d. Semen *Portland* Jenis IV

Sebutan lain dari semen jenis IV ini adalah *Low Heat Portland Cement*. Semen ini digunakan untuk bangunan dengan panas hidrasi rendah. Semen jenis IV ini mempunyai kandungan  $\text{C}_3\text{S}$  dan  $\text{C}_3\text{A}$  lebih rendah tetapi  $\text{C}_2\text{S}$  lebih banyak dibanding OPC. *Low Heat Portland Cement* memiliki kandungan 35%  $\text{C}_3\text{S}$ , 40%  $\text{C}_2\text{S}$ , dan 7%  $\text{C}_3\text{A}$ .

e. Semen *Portland* Jenis V

Sebutan lain dari semen jenis V ini adalah *Sulfate Resistance Portland Cement*. Jenis semen ini yang memiliki kekuatan

tinggi terhadap sulfat dan kandungan  $C_3A$  lebih rendah dibandingkan semen jenis lainnya. Semen ini banyak digunakan untuk bangunan di daerah dengan kadar sulfat. *Sulfate Resistance Portland Cement* memiliki kandungan 5%  $C_3A$ .

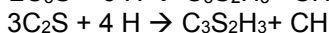
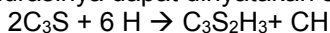
Menurut Wiryasa dan Sudarsana (2009), Kandungan terbesar dalam semen adalah kandungan  $CaO$  yang memiliki fungsi dalam proses perekatan/ pengikatan, sedangkan  $SiO_2$  berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*), dimana kedua bahan ini memiliki peranan dalam menentukan kekuatan semen.  $Al_2O_3$  memiliki fungsi dalam mempercepat proses pengerasan. Sedangkan  $Fe_2O_3$  memiliki suhu leleh yang rendah yang menyebabkannya sebagai bahan bakar dalam proses pembakaran klinker, oleh karena itu  $Fe_2O_3$  bukan merupakan unsur yang aktif dalam semen. Jenis semen yang umum digunakan oleh masyarakat adalah OPC. Kandungan kimia semen *portland* I ini dapat terlihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Kandungan kimia (% berat) semen *portland* I

Komposisi Kimia	% berat
Silika (min.)	11,32
Oksida alumunium (maks.)	4,92
Oksida besi (maks.)	7,96
Kalsium oksida	72,40

Sumber: Wijaya (2005)

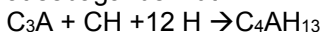
Penambahan air pada semen akan menyebabkan reaksi kimia yang disebut dengan proses hidrasi. Reaksi pengerasan semen *portland* didukung oleh hidrasi alite ( $C_3S$ ) dan belite ( $C_2S$ ). Paria dan Yuet (2006) menyatakan bahwa hasil proses hidrasi dari  $C_3S$  berfungsi untuk mempengaruhi kekuatan awal pada pasta semen. Reaksi hidrasinya dapat dinyatakan sebagai berikut:



$C_3S$  dalam proses hidrasi membentuk lapisan tipis dari kalsium silikat hidrat atau yang dikenal dengan C-S-H. Formasi C-S-H

memiliki pengaruh besar pada proses solidifikasi. Hal ini dikarenakan formasi C-S-H dapat memperkuat nilai kuat tekan pada campuran beton menggunakan semen.

Senyawa lain yang mendukung proses hidrasi semen ini adalah C<sub>3</sub>A dan C<sub>4</sub>AF. Senyawa tersebut memiliki sifat paling reaktif di semua fase semen *portland*. C<sub>3</sub>A juga memiliki kekuatan dalam proses pengikatan awal semen. Reaksi hidrasi C<sub>3</sub>A dan C<sub>4</sub>AF dapat dilihat sebagai berikut:



## 2.6 Uji TCLP

Uji TCLP (*Toxicity Characteristic Leaching Procedure*) merupakan uji yang paling penting sebelum limbah B-3 dibuang ke lingkungan karena dapat membedakan setiap karakteristik dari limbah B-3. Hal ini diatur dalam PP RI No. 85 Tahun 1999 yang menyatakan bahwa limbah B-3 dapat diidentifikasi berdasarkan sumber, uji karakteristik dan/atau uji toksikologi. Menurut Gailius dkk (2010), Uji TCLP menggunakan proses ekstraksi dimana setiap logam berat atau kontaminan akan terlepas. Tujuan uji TCLP adalah untuk mengetahui tingkat parameter toksisitas logam berat pada limbah. Nilai ambang batas maksimum uji TCLP di Indonesia tercantum dalam Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Baku mutu TCLP di Indonesia

Parameter	Konsentrasi dalam Ekstraksi Limbah (mg/L)
Kromium	5,00
Tembaga	10,00
Timbal	5,00

Sumber: Lampiran II Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999

Uji TCLP adalah tes *batch*-ekstraksi. Produk S/S akan dihancurkan menjadi ukuran partikel yang lebih kecil dari 9,5 mm. Dua pilihan cairan ekstraksi asam *buffered* (asam asetat) yang digunakan dalam proses TCLP, tergantung pada alkalinitas dan kapasitas *buffering* dari limbah (US-EPA, 1992).

## 2.7 Uji Kuat Tekan

Uji kuat tekan diartikan sebagai besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990). Mesin tekan ini dapat dilihat pada Gambar 2.4. Berdasarkan SNI 03-1974-1990, pelaksanaan pengujian kuat tekan beton harus mengikuti beberapa tahapan sebagai berikut:

- 1) Letakkan benda uji pada mesin tekan secara centris.
- 2) Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 sampai 4 kg/cm<sup>2</sup> per detik.
- 3) Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan catatlah beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
- 4) Gambar bentuk pecah dan catatlah keadaan benda uji.



Gambar 2. 4 Mesin kuat tekan

Hasil uji kuat tekan pada benda uji dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satu faktor tersebut adalah faktor air semen (FAS). Nilai FAS yang memenuhi kriteria campuran beton adalah 0,33 (Shalahuddin, 2009). Semakin tinggi FAS dalam proses S/S maka semakin rendah nilai kuat tekan. Hal ini terjadi karena setiap penambahan FAS terdapat kelebihan air yang tidak bereaksi dengan semen. Akibatnya, terjadi *bleeding* pada pembuatan benda uji sehingga terdapat rongga pada beton dan nilai kuat tekan menurun (Nugroho dan Widodo, 2010).

Malviya dan Chaudhary (2006) menyatakan bahwa data uji kekuatan sering digunakan untuk memberikan perbandingan dasar antara limbah tidak stabil dan stabil. Bahan limbah yang tidak stabil umumnya tidak menunjukkan kekuatan geser yang baik.

Dalam hal ini dibutuhkan bahan yang stabil untuk dipadatkan bersamaan dengan jenis limbah yang tidak stabil tersebut. Korelasi antara kekuatan stabilisasi/solidifikasi (S/S) dan tingkat stabilisasi kontaminan belum diidentifikasi, tetapi umumnya diasumsikan bahwa kekuatan yang lebih tinggi memberikan hambatan fisik yang lebih baik, dan dengan demikian menyebabkan penurunan risiko pencemaran bahan berbahaya ke lingkungan (Gailius dkk, 2010).

Produk stabilisasi/solidifikasi (S/S) harus menjaga pasti kekuatan minimum tekan yang aman sebelum dilakukan pembuangan ke *landfill*. US-EPA (1989) menyatakan bahwa produk stabilisasi/solidifikasi (S/S) dengan kekuatan 0.35 MPa memiliki kuat tekan bebas yang memuaskan. Hal ini menjadi pedoman minimum yang telah disarankan untuk produk S/S sebelum dibuang ke *landfill*. Uji kuat tekan dilakukan pada interval waktu yang berbeda, yaitu 1, 3, 7, 14, 28, 90 hari untuk melihat efek perubahan komposisi mineral limbah dari hari ke hari. Semakin bertambahnya waktu *curing* (perawatan mortar), maka pengikat limbah matriks akan berkurang bila dibandingkan dengan pengikat matriks alami.

## **2.8 Paint Filter Test**

*Paint Filter Test* digunakan untuk menentukan adanya cairan bebas dari setiap sampel limbah (US-EPA, 2004). Setiap sampel akan diletakkan pada alat *paint filter*. Jika ada bagian dari sampel turun melewati *paint filter* dalam durasi 5 menit, maka sampel tersebut dianggap mengandung *free liquid* (cairan bebas).

Selanjutnya media yang digunakan akan diamati untuk memisahkan paparan basa dari kerucut *filter*. Pengujian harus dilakukan di atas titik beku, tetapi tidak melebihi suhu kamar dari 25°C. Suhu sangat berpengaruh ada metode ini apabila suhu yang digunakan dibawah titik beku.

## **2.9 Proses Perawatan Mortar (Curing)**

*Curing* merupakan suatu langkah atau tindakan memberiUji kesempatan pada semen untuk mengembangkan kekuatannya secara wajar dan sempurna. Kegiatan *curing* ini dapat memaksimalkan kekuatan yang dihasilkan oleh mortar (Factsha dkk, 2008). Menurut Syamsuddin dkk (2011), tujuan dari perawatan (*curing*) beton yaitu:

1. Mencegah kehilangan moisture pada beton.
2. Mempertahankan suhu yang baik dalam durasi waktu tertentu (diatas suhu beku dan dibawah 50<sup>0</sup> C).

Apabila tidak dilakukan tindakan *curing*, maka kekuatan mortar akan melemah dan secara fisik mortar akan terlihat retak-retak (Factsha dkk, 2008). Menurut Syamsuddin dkk (2011), terdapat beberapa jenis perawatan beton antara lain:

1. *Steam Curing*  
Metode ini dilakukan untuk memperoleh kekuatan awal.
2. *Penyemprotan/Fogging*  
Metode ini baik untuk kondisi dengan suhu diatas suhu beku dan humiditas rendah.
3. *Penggenangan/Perendaman*  
Metode ini ideal untuk mencegah hilangnya *moisture* dan mempertahankan suhu yang seragam.
4. *Lembaran Plastik*  
Metode ini menggunakan lapisan *polythylene* dengan ketebalan 4 mm, yang memiliki kelebihan sebagai berikut: ringan, efektif sebagai penghalang hilangnya *moisture*, dan mudah diterapkan.
5. *Penutup Basah*  
Metode ini menggunakan bahan yang dapat mempertahankan *moisture* seperti burlap (karung goni) yang dibasahi dengan kelebihan sebagai berikut: mencegah terjadinya *discoloration* dan tahan terhadap api.
6. *Curing Compound*  
Metode ini akan menghasilkan lapisan tipis pada permukaan untuk menghalangi adanya penguapan.

## **2.10 Penelitian Terdahulu**

Penelitian terdahulu berfungsi sebagai pedoman dalam pelaksanaan penelitian. Penelitian terdahulu terdiri dari beberapa refrensi mengenai proses stabilisasi/solidifikasi. Penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.5.



Tabel 2. 5 Referensi penelitian terdahulu

No.	Sumber	Hasil Penelitian
1.	Marzuki dan Jogaswara, 2007	Proses S/S menggunakan kapur Padalarang dan <i>fly ash</i> Suralaya dapat dijadikan sebagai pengganti semen <i>portland</i> pada industri perumahan sederhana. Semakin tinggi kandungan <i>fly ash</i> , semakin rendah kuat tekan yang dihasilkan pada umur 28 hari. Penggunaan <i>fly ash</i> ini digunakan karena relatif biaya murah. Penggunaan perbandingan kapur Padalarang : <i>fly ash</i> Suralaya = 1 :3 menghasilkan kuat tekan memenuhi SNI15-0301.
2.	Singhal dkk, 2012	Penambahan 7,5% TSLS ( <i>Treated Spent Liquor Sludge</i> ) dan 15% <i>fly ash</i> dalam penelitian ini dapat meningkatkan kuat tekan. Hal ini disebabkan oleh adanya formasi gelembung C-S-H yang menyebar di dalam produk S/S. Cr(VI) dan Ni tidak ditemukan dalam <i>leaching test</i> selama 24 minggu. Hal ini terjadi karena unsur Cr(VI) dan Ni telah terikat oleh semen pada proses S/S.
3.	Shalahuddin, 2009	Jumlah benda uji yang digunakan adalah 24 buah. Setiap benda uji memiliki kadar <i>fly ash</i> yang berbeda yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15%. Uji kuat tekan dilakukan setelah 14 dan 28 hari. Penggunaan <i>fly ash</i> 5% terhadap berat semen dapat meningkatkan nilai kuat tekan sebesar 28,6%. Sebaliknya, penggunaan 10% dan 15% <i>fly ash</i> terhadap berat semen menurunkan nilai kuat tekan. Pada saat penambahan <i>fly ash</i> 5%, $\text{Ca(OH)}_2$

No.	Sumber	Hasil Penelitian
		terikat seluruhnya dengan $\text{SiO}_2$ . Sebaliknya, penggunaan <i>fly ash</i> lebih dari 5% akan menghasilkan $\text{SiO}_2$ sebagai material halus bebas. Hal inilah yang menyebabkan penurunan nilai kuat tekan.
4.	Sebayang, 2010	Pengurangan CaO pada beton terjadi karena senyawa tersebut bereaksi dengan $\text{SiO}_2$ pada <i>fly ash</i> . Pada penelitian ini, kadar <i>fly ash</i> yang digunakan yaitu 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15%. Kuat tekan benda uji dipantau pada umur 7, 14, 28, dan 56 hari. Hasil kuat tekan optimum yang optimum yaitu pada umur 56 hari dengan kadar <i>fly ash</i> 9%.
5.	Rommel dan Rusdianto, 2012	Benda uji berbentuk kubus berukuran 15 x 15 x 15 cm. Umur pengujian yang dilakukan yaitu 7, 14, dan 28 hari. Kandungan <i>fly ash</i> yang digunakan adalah 7,5%, 15%, dan 30%. Semakin besar kandungan <i>fly ash</i> dalam campuran beton, nilai <i>slump</i> semakin menurun. Perawatan benda uji dilakukan dengan cara mengalirkan uap panas ke dalam beton ( <i>steam curing</i> ). Beton yang diberi <i>steam curing</i> memiliki kekuatan awal yang lebih baik. Nilai kuat tekan dengan kandungan <i>fly ash</i> 7,5% dan adalah 702 kg/cm <sup>2</sup> dan 15% adalah 600 kg/cm <sup>2</sup> . Penurunan kekuatan beton ini didukung oleh penggunaan jumlah air atau FAS pada campuran beton. Semakin besar pemakaian <i>fly ash</i> , maka faktor air semen yang digunakan juga meningkat. Faktor air semen untuk kandungan <i>fly ash</i> 7,5%, 15%, dan

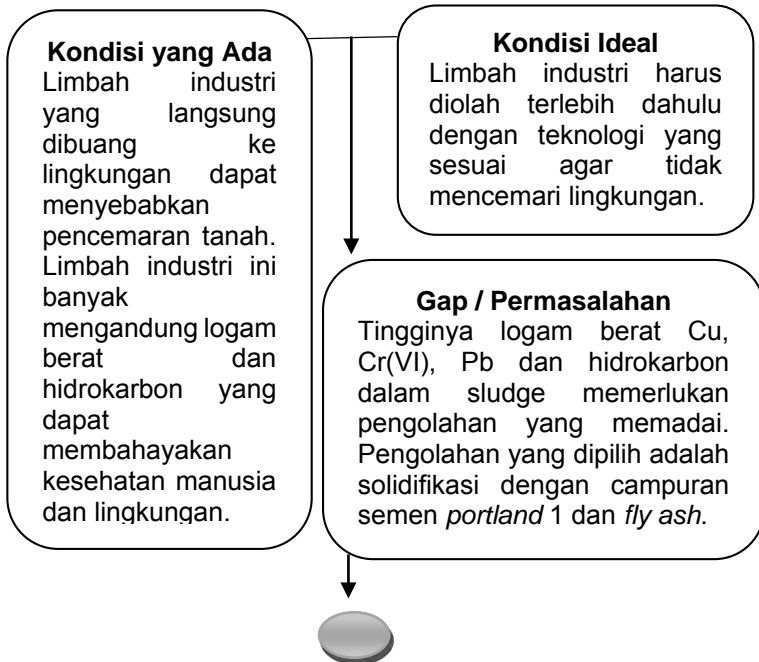
No.	Sumber	Hasil Penelitian
		30% adalah 0,29; 0,32; dan 0,39. Peningkatan pemakaian jumlah air mempengaruhi kekuatan awal beton.
6.	Mughnie, 2010	Kandungan <i>fly ash</i> yang digunakan yaitu 15%, 20%, dan 30% dari berat semen. Nilai kuat tekan dengan penggunaan <i>fly ash</i> 15% lebih kecil dari penggunaan <i>fly ash</i> 20% dan 30%. Kuat tekan juga dipengaruhi oleh FAS. Semakin kecil kadar air semen, maka nilai kuat tekan beton semakin besar. FAS yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; dan 0,7. Nilai kuat tekan yang paling besar dihasilkan dari benda uji yang mengandung FAS 0,3 dan <i>fly ash</i> 30%.
7.	Suarnita, 2011	Benda uji yang digunakan yaitu berbentuk silinder dengan ukuran 15 x 30 cm. Variasi kandungan <i>fly ash</i> yang ditambahkan pada benda uji adalah 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat semen. Hasil penelitian ini menunjukkan semakin besar kadar <i>fly ash</i> , maka nilai kuat tekan meningkat. Hal ini disebabkan penambahan <i>fly ash</i> tanpa mengurangi proporsi semen akan menghasilkan SiO <sub>2</sub> sebagai pengikat semen.

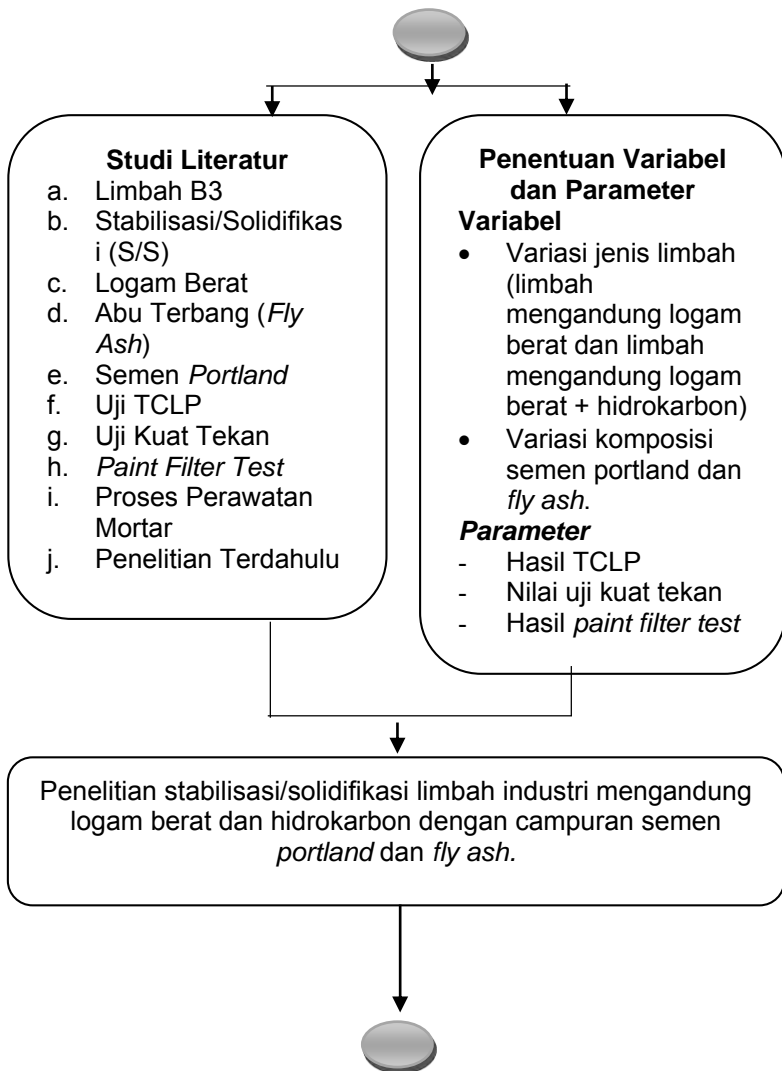
## BAB 3

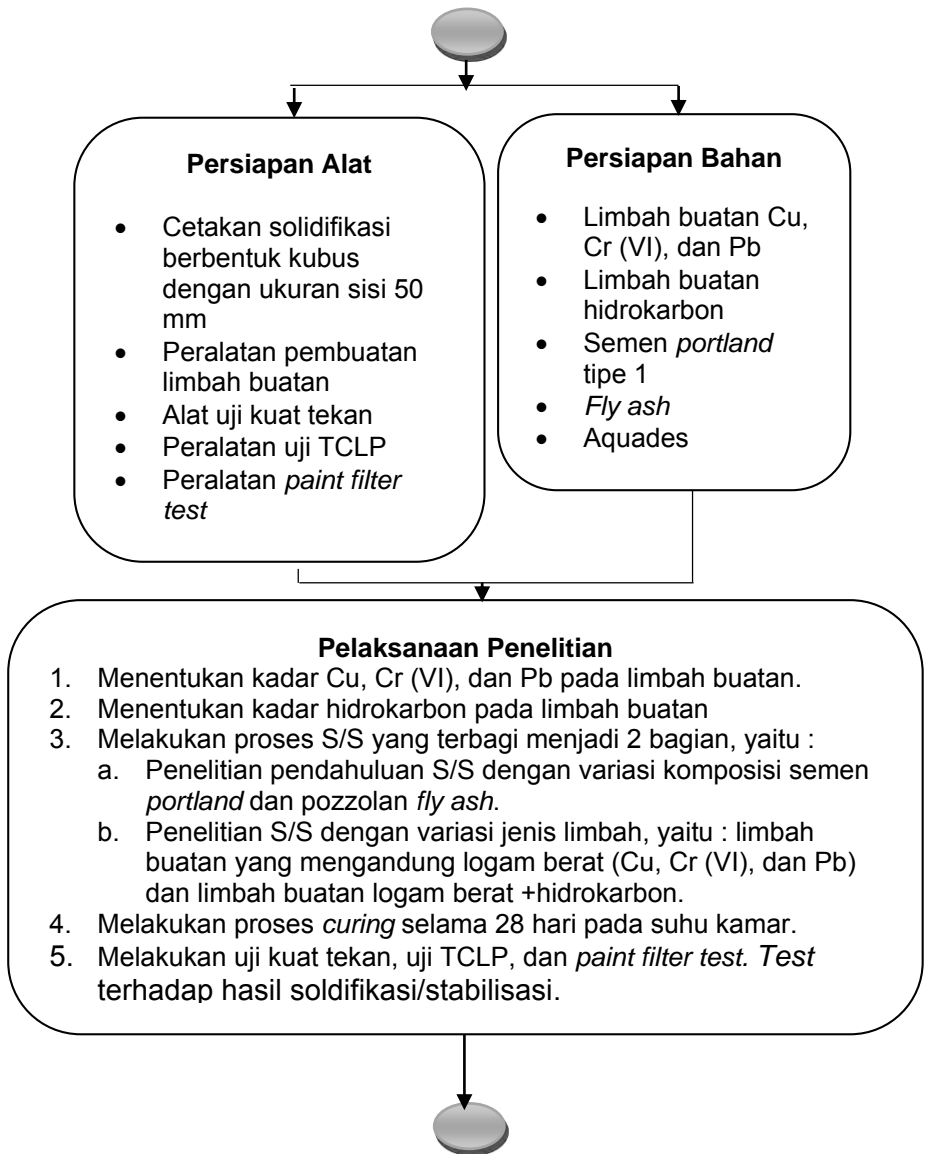
### METODE PENELITIAN

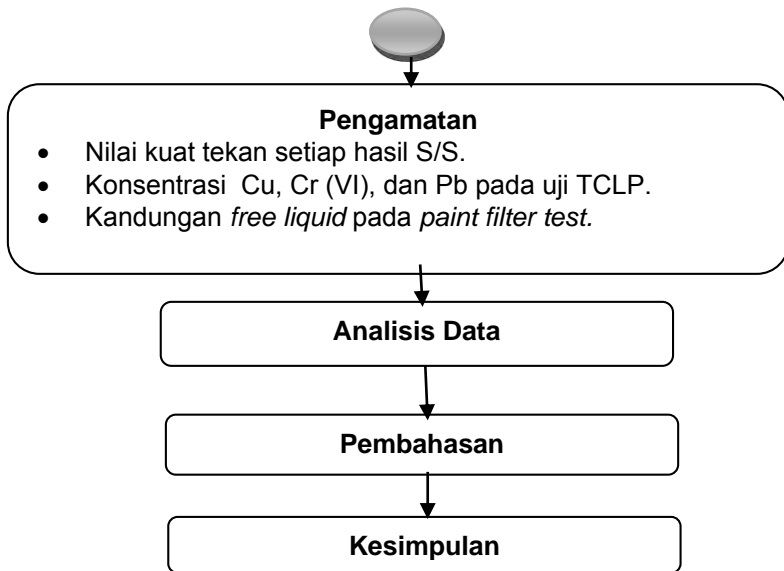
#### 3.1 Kerangka Penelitian

Metode penelitian disusun dalam bentuk kerangka penelitian yaitu alur atau prosedur yang akan dilakukan dalam penelitian. Kerangka penelitian berfungsi sebagai gambaran awal dalam pelaksanaan sehingga memudahkan penelitian dan penulisan laporan. Selain itu, kerangka penelitian memudahkan pembaca dalam memahami penelitian yang akan dilakukan. Berdasarkan ide yang telah dibuat, dapat dilihat kerangka penelitian yang disusun dalam Gambar 3.1.









Gambar 3. 1 Kerangka penelitian

### 3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan Penelitian ini menjelaskan mengenai tahapan kerja yang akan dilakukan dalam penelitian. Dalam langkah penelitian ini juga akan dijelaskan secara lebih rinci mengenai tahapan yang disusun dalam kerangka penelitian. Tujuan dari pembuatan tahapan ini adalah untuk memudahkan pemahaman dan menjelaskan melalui deskripsi tiap tahapan. Berikut ini adalah tahapan yang dilakukan dalam penelitian, yaitu:

#### 1. Ide penelitian

Hal pertama yang dilakukan adalah melakukan *gap analysis* dengan membandingkan kondisi di lapangan dengan kondisi yang sebenarnya. Ide penelitian diperoleh dari masalah akibat perbedaan kondisi keduanya yang signifikan. Penelitian kali ini adalah S/S logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb dalam campuran semen + *fly ash* dan campuran semen + *fly ash* + hidrokarbon. Penelitian dengan 2 variabel tersebut berfungsi untuk mengetahui komposisi optimum campuran semen *portland* dan *fly ash* dalam mengikat logam berat (Cu, Cr(VI), dan Pb)

dalam proses S/S dan mengetahui mutu produk S/S dari limbah tersebut.

## **2. Studi Literatur**

Studi literatur ini bertujuan untuk mendukung dan meningkatkan pemahaman lebih jelas terhadap ide penelitian. Sumber literatur yang digunakan adalah jurnal internasional dan jurnal indonesia, peraturan, makalah seminar, *test book*, serta tugas akhir yang berhubungan dengan penelitian.

## **3. Persiapan Alat dan Bahan**

Persiapan ini dilakukan untuk menyiapkan seluruh alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.

## **4. Analisis Awal**

Kegiatan yang dilakukan pada awal penelitian yaitu menganalisis kandungan pada seluruh bahan yang digunakan. Selanjutnya, dilakukan perhitungan berat dari  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , dan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  yang terlampir pada b. Kemudian, dilakukan uji *slump*, dimana prosedurnya terlampir pada Lampiran A. Tujuan dari uji *slump* ini yaitu untuk mencegah terjadinya *bleeding* atau pemisahan air. Uji *slump* dapat menentukan volume air yang harus ditambahkan ke adonan bahan uji. Volume air tersebut berfungsi sebagai volume pelarut logam berat pada limbah buatan.

## **5. Pembuatan Limbah Buatan**

Limbah yang akan diteliti adalah limbah buatan dengan kandungan logam berat Cu, Cr(VI) (VI), dan Pb dalam campuran semen + *fly ash* dan campuran semen + *fly ash* + hidrokarbon. Limbah yang dibuat disesuaikan dengan kategori limbah belum terolah yang akan dibuang ke *landfill* kategori 1, dimana kandungan Cu lebih dari atau sama dengan 1000 mg/kg berat kering, kandungan Cr(VI) lebih dari atau sama dengan 2500 mg/kg berat kering, dan kandungan Pb lebih dari atau sama dengan 3000 mg/kg berat kering. Sedangkan kandungan hidrokarbon atau TPH (*Total Petroleum Hydrocarbon*) yang akan ditambahkan ke dalam limbah buatan adalah 2,5%; 5%; 7,5%; dan 10%.



## 6. Pembuatan Benda Uji

Komposisi perbandingan (% berat) variasi pertama yang terdiri dari semen *portland* tipe I, *fly ash*, logam berat Cu, Cr(VI), dan Pb adalah sebagai berikut:

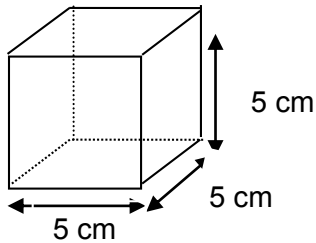
Tabel 3. 1 Perbandingan (% berat) variasi pertama yang terdiri dari semen *portland* tipe I, *fly ash*, dan logam berat

	Komposisi Semen (%)	Komposisi Fly Ash (%)	Limbah Buatan Mengandung Logam Berat (mg/kg)
Pembanding	100	0	Cu= 1000; Cr(VI)= 2500 mg/kg; Pb= 3000
	90	10	Cu= 1000; Cr(VI)= 2500 mg/kg; Pb= 3000
	80	20	Cu= 1000; Cr(VI)= 2500 mg/kg; Pb= 3000
	70	30	Cu= 1000; Cr(VI)= 2500 mg/kg; Pb= 3000
	60	40	Cu= 1000; Cr(VI)= 2500 mg/kg; Pb= 3000

Selanjutnya, hasil optimum yang dihasilkan dari variasi pertama digunakan sebagai agen solidifikasi variasi kedua. Hasil optimum didasarkan pada nilai uji kuat tekan dan uji TCLP yang paling baik. Hal ini diprioritaskan terlebih dulu pada nilai uji TCLP. Apabila nilai uji TCLP dan uji kuat tekan memenuhi baku mutu, maka hasil optimum ditentukan dengan nilai TCLP yang terkecil. Pada variasi kedua akan ditambahkan hidrokarbon dengan komposisi 2,5%; 5%; 7,5%; dan 10%. Semen yang digunakan adalah semen *portland* tipe 1 yaitu produksi PT. Semen Gresik (PERSERO). Hidrokarbon yang digunakan adalah *parafin liquid*. *Fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* yang berasal dari PLTU Paiton dan dapat diperoleh di jurusan teknik sipil FTSP-ITS. Komposisi perbandingan (%berat) dapat dilihat pada Tabel 3.2. Benda uji yang akan digunakan dalam penelitian ini, dicetak berbentuk kubus dengan ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm dengan menggunakan cetakan yang disebut *Specimen Mold*. Massa dari benda uji adalah 300 gram. Gambar cetakan uji yang akan digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.2. Benda uji yang digunakan sebanyak 18 buah dengan rincian pada Gambar 3.3.

Tabel 3. 2 Perbandingan (% berat) variasi kedua yang terdiri dari kondisi optimum tahap 1 dan hidrokarbon

Komposisi Kondisi Optimum Tahap 1 (%)	Komposisi Hidrokarbon (%)
100	2,5
95	5
90	7,5
80	10



Gambar 3.2 Benda uji  
Sumber : Ritayani (2014)

Tahap I: menentukan komposisi optimum semen dan *fly ash*

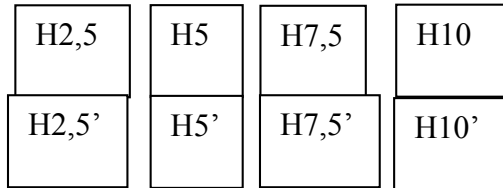
A1	B1	C1	D1	E1
A2	B2	C2	D2	E2

Gambar 3.3 Reaktor penelitian tahap pertama

Keterangan:

- A = Komposisi semen: *fly ash* : Cu,Cr(VI), dan Pb = 100:0:0  
 B = Komposisi semen: *fly ash* : Cu,Cr(VI), dan Pb = 90:10:1000,2500,dan 3000 mg/kg  
 C = Komposisi semen: *fly ash* : Cu,Cr(VI), dan Pb = 80:20:1000,2500,dan 3000 mg/kg  
 D = Komposisi semen: *fly ash* : Cu,Cr(VI), dan Pb = 70:30:1000,2500,dan 3000 mg/kg  
 E = Komposisi semen: *fly ash* : Cu,Cr(VI), dan Pb 60:40:1000,2500,dan 3000 mg/kg

Tahap 2: menentukan pengaruh hidrokarbon terhadap mutu produk S/S



Gambar 3.4 Reaktor penelitian tahap kedua

Keterangan :

- H2,5 = Campuran variasi pertama dan hidrokarbon 2,5%  
H5 = Campuran variasi pertama dan hidrokarbon 5%  
H7,5 = Campuran variasi pertama dan hidrokarbon 7,5%  
H10 = Campuran variasi pertama dan hidrokarbon 10%  
Hn' = Ulangan variasi kadar hidrokarbon dengan konsentrasi n mg/kg

## 7. Perawatan (*curing*)

Perawatan (*curing*) dilakukan dengan meletakkan benda uji S/S pada suhu kamar dalam waktu 28 hari. Alat yang digunakan dalam *curing* ini yaitu panci yang berisikan air. Air tersebut akan mengeluarkan uap air guna menjaga kelembaban benda uji.

## 8. Uji Kuat Tekan

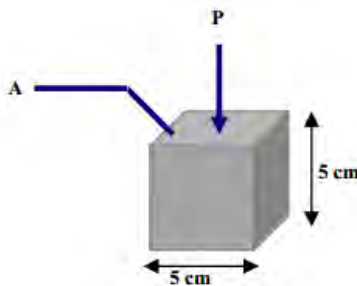
Data uji kuat tekan ini sering digunakan untuk memberikan perbandingan antara limbah stabil dan limbah tidak stabil. Sesuai dengan keputusan kepala BAPEDAL No:Kep 03/BAPEDAL/09/1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, diharapkan kuat tekan yang dapat diterima oleh benda uji dan benda kontrol minimum 10 ton/m<sup>2</sup>. EPA beranggapan bahwa bahan stabilisasi-solidifikasi dengan kekuatan 0,35 Mpa termasuk bahan dengan kuat tekan yang baik. Pada penelitian ini alat yang digunakan untuk uji kuat tekan adalah *Toorse Universal Testing Machine Type RAT-200*, MFG No. 20380

CAP. 200 tf. Uji kuat tekan dilakukan di Laboratorium Beton dan Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, setelah pengerasan mortar selama 28 hari. Prosedur uji kuat tekan terlampir pada Lampiran A. Perhitungan kuat tekan benda uji dilakukan dengan rumus :  $FM = P / A$

Keterangan :  $F_m$  = Kuat Tekan Mortar (Mpa)

$P$  = Gaya Tekan (N)

$A$  = Luas ( $mm^2$ )



Gambar 3. 5 Mortar untuk uji kuat tekan

## 9. Uji TCLP

Uji TCLP dilakukan untuk mengetahui tingkat konsentrasi toksisitas yang terdapat dalam limbah. Paramater yang digunakan adalah PP No. 85 tahun 1999 dan US-EPA. Apabila hasil TCLP melebihi baku mutu yang ada maka limbah tersebut digolongkan sebagai limbah B3. Preparasi dan ekstraksi sampel dilakukan di Laboratorium Limbah Padat dan B-3 Jurusan Teknik Lingkungan ITS. Analisis konsentrasi Cu, Pb, dan Cr(VI) pada benda solidifikasi/stabilisasi menggunakan metode spektrofotometer serapan atom. Prosedur untuk uji TCLP terlampir pada Lampiran A.

## 10. Paint Filter Test

Metode ini digunakan untuk menentukan ada tidaknya cairan bebas dari sebuah sampel limbah. Filter media yang ada digunakan untuk memisahkan cairan dari limbah. Prosedur dari *paint filter test* terlampir pada Lampiran A.

### **11. Analisis Data**

Pada penelitian ini digunakan 2 variabel yaitu variasi jenis limbah dan variasi komposisi semen *portland* dan *fly ash*. Pengujian yang dilakukan terhadap 18 benda S/S tersebut adalah uji kuat tekan, uji TCLP, dan *paint filter test*. Analisis data pada penelitian ini menggunakan cara secara statistik, yaitu metode ANOVA (*Analysis of Variance*). Variabel yang digunakan dalam metode ANOVA yaitu uji kuat tekan dan uji TCLP. Data yang diperoleh dari penelitian ini selanjutnya dianalisis dan disajikan dalam bentuk tabel.

### **12. Kesimpulan dan Saran**

Tahap kesimpulan dan saran merupakan tahap akhir dari proses penelitian. Kesimpulan di rumuskan berdasarkan hasil pengamatan, analisis data, dan pembahasan yang dirangkum menjadi satu kesatuan. Saran dirumuskan berdasarkan kekurangan dari penelitian ini yang bertujuan agar peneliti selanjutnya dapat memperbaiki kekurangan yang ada.

## **BAB 4**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Karakteristik Material**

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *portland* Tipe 1, *fly ash*, limbah buatan mengandung Cu, Cr(VI), dan Pb, serta parafin *liquid*. Kandungan logam Cu, Cr(VI) dan Pb diambil dari  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , dan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ .

##### **4.1.1 Karakteristik Semen *Portland* Tipe 1**

Semen *portland* tipe 1 digunakan dalam penelitian ini karena tidak memiliki sifat-sifat khusus dalam penggunaannya. Semen *portland* tipe 1 yang digunakan berasal dari PT Semen Gresik. Sifat fisik dari semen *portland* tipe 1 PT Semen Gresik adalah butiran halus berwarna abu-abu.

Wiryasa dan Sudarsana (2009) menyatakan bahwa semen berfungsi dalam proses pengikatan, bahan pengisi, dan proses pengerasan. Pada penelitian ini, semen berfungsi untuk mengikat kandungan logam berat yang terdapat dalam limbah. Menurut Trihadiningrum (2000), beberapa keuntungan proses S/S menggunakan semen adalah:

1. Tidak memerlukan biaya yang mahal.
2. Prosesnya mudah dilakukan.
3. Dapat menetralkan limbah asam karena semen memiliki sifat basa.
4. Tidak memerlukan proses pengeringan yang ekstensif.

##### **4.1.2 Karakteristik *Fly Ash***

*Fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PLTU Paiton dan diperoleh di Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS. *Fly ash* ini merupakan butiran halus yang memiliki warna coklat tua. Berdasarkan uji karakteristik, *fly ash* ini memiliki kandungan  $\text{SiO}_2$  sebesar 20,5% dan  $\text{CaO}$  sebesar 16%. *Fly ash* memiliki sifat cementitious apabila dicampur dengan air.

Penambahan *fly ash* pada proses S/S dapat mempengaruhi nilai kuat tekan pada benda uji. Menurut Mughnie (2010), keuntungan dari penggunaan *fly ash* adalah:

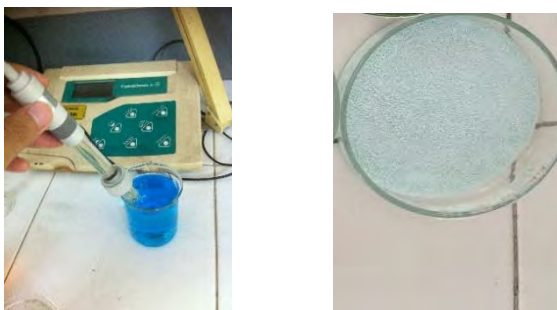
1. Mengurangi terjadinya *bleeding* atau pemisahan air.

2. Mengurangi jumlah panas hidrasi yang terjadi.
3. Mengurangi jumlah air campuran.

#### 4.1.3 Karakteristik Limbah Larutan

Pada penelitian ini digunakan limbah buatan mengandung Cu, Cr(VI) dan Pb. Kandungan Cu, Cr(VI), dan Pb diperoleh dari larutan kristal  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , dan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ . Penambahan logam berat tersebut disesuaikan dengan peraturan perundangan yang berlaku. Larutan dibuat dengan menggunakan aquades. Penambahan aquades disesuaikan dengan hasil uji konsistensi normal tiap variasi komposisi. Maka dapat disimpulkan bahwa setiap komposisi ditambahkan kandungan logam berat yang sama dengan jumlah aquades berbeda. Berikut ini merupakan karakteristik limbah buatan:

- a. Limbah buatan mengandung Cu  
Larutan kristal yang digunakan dalam limbah buatan ini adalah  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Warna dari kristal tersebut adalah biru muda. Berdasarkan hasil laboratorium, nilai pH dalam limbah buatan mengandung Cu adalah 2,58. Limbah buatan  $\text{CuSO}_4$  dan kristal  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Limbah buatan  $\text{CuSO}_4$  dan kristal  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

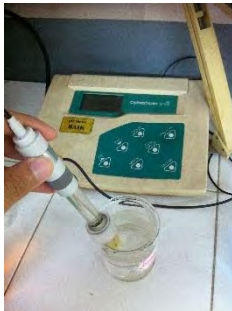
- b. Limbah buatan mengandung Cr(VI)  
Larutan kristal yang digunakan dalam limbah buatan ini adalah  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . Warna dari kristal tersebut adalah orange. Berdasarkan hasil laboratorium, nilai pH dalam limbah buatan mengandung Cu adalah 2,87. Limbah buatan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  dan kristal  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  dapat dilihat pada Gambar 4.2.





Gambar 4. 2 Limbah buatan  $K_2Cr_2O_7$  dan kristal  $K_2Cr_2O_7$

- c. Limbah buatan mengandung Pb  
Larutan kristal yang digunakan dalam limbah buatan ini adalah  $Pb(NO_3)_2$ . Warna dari kristal tersebut adalah putih. Berdasarkan hasil laboratorium, nilai pH dalam limbah buatan mengandung Cu adalah 2,33. Limbah buatan  $Pb(NO_3)_2$  dan kristal  $Pb(NO_3)_2$  dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Limbah buatan  $Pb(NO_3)_2$  dan kristal  $Pb(NO_3)_2$

#### 4.2 Penambahan Logam Berat ke Campuran Bahan dalam Proses S/S

Pada penelitian ini, terdapat 2 variasi komposisi yaitu: (1) variasi komposisi semen dan *fly ash*, (2) variasi komposisi

hidrokarbon berupa parafin *liquid*. Logam berat yang digunakan adalah  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , dan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ . Kandungan Cu, Cr(VI), dan Pb yang ditambahkan pada kedua variasi tersebut sama besarnya yaitu 1000 mg/kg, 2500 mg/kg, dan 3000 mg/kg berat kering. Besar komposisi tersebut dapat diperoleh melalui perhitungan sebagai berikut:

a. Perhitungan berat  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

A = berat  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

$$\text{Cu} = \frac{\text{Ar Cu}}{(1 \times \text{Ar Cu}) + (1 \times \text{Ar S}) + (4 \times \text{Ar O}) + (5 \times \text{Mr H}_2\text{O})} \times A$$

$$1000 = \frac{63,5}{(1 \times 63,57) + (1 \times 32) + (4 \times 16) + (5 \times 18)} \times A$$

$$A = 3,845,34 \text{ mg/kg}$$

$$A = 3,845 \text{ g/kg}$$

b. Perhitungan berat  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

B = berat  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$

$$\text{Cr} = \frac{\text{Ar Cr}}{(2 \times \text{Ar K}) + (2 \times \text{Ar Cr(VI)}) + (7 \times \text{Ar O})} \times B$$

$$2500 = \frac{51,996}{(2 \times 51,996) + (2 \times 32) + (7 \times 16)} \times B$$

$$B = 7067,66 \text{ mg/kg}$$

$$B = 7,067 \text{ g/kg}$$

c. Perhitungan berat  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

C = berat  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$

$$\text{Pb} = \frac{\text{Ar Pb}}{(1 \times \text{Ar Pb}) + (2 \times \text{Ar N}) + (6 \times \text{Ar O})} \times C$$

$$3000 = \frac{207,2}{(1 \times 207,2) + (2 \times 14) + (6 \times 16)} \times C$$

$$C = 4795,367 \text{ mg/kg}$$

$$C = 4,795 \text{ g/kg}$$

Berat bahan campuran dalam satu benda uji yaitu 300 g. Pada penelitian ini digunakan pengulangan sebanyak dua kali. Maka dari itu, dilakukan perhitungan logam berat yang dibutuhkan dalam dua benda uji. Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Penambahan  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , dan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  pada campuran semen dan *fly ash*

Sampel	Perbandingan komposisi (%)		Perbandingan berat (g)		Berat logam berat dalam dua benda uji (g)		
	Semen	<i>Fly ash</i>	Semen	<i>Fly ash</i>	$\text{CuSO}_4$	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$
A	100	0	100	0	0	0	0
B	90	10	270	30	2,3	4,2	2,8
C	80	20	240	60	2,3	4,2	2,8
D	70	30	210	90	2,3	4,2	2,8
E	60	40	180	120	2,3	4,2	2,8

Keterangan:

- A = Komposisi semen : *fly ash* = 100 : 0
- B = Komposisi semen : *fly ash* = 90 : 10
- C = Komposisi semen : *fly ash* = 80 : 20
- D = Komposisi semen : *fly ash* = 70 : 30
- E = Komposisi semen : *fly ash* = 60 : 40

### 4.3 Uji Konsistensi Normal

Konsistensi normal semen *portland* merupakan kadar air pasta semen yang dapat menurunkan 1 cm dalam waktu 30 detik. Hal ini sesuai dengan ASTM C187-11 tentang metode Pengujian Konsistensi Normal Semen Portland dengan Alat Vicat. Tujuan dari uji ini adalah menentukan banyaknya aquades yang akan ditambahkan baik ke dalam variasi komposisi semen dan *fly ash* maupun parafin *liquid*. Berat padatan dalam satu benda uji adalah 300 g. Peralatan yang digunakan dalam uji ini adalah:

- Mesin pengaduk dan wadah pengaduk.
- Alat vicat yang terdiri dari: (1) alat batang vicat, (2) cetakan benda uji berbentuk kerucut dengan diameter atas 6 cm, diameter bawah 7 cm, dan tinggi 4 cm.
- Gelas ukur berukuran 100 mL sebanyak 2 buah untuk mengukur aquades yang akan ditambahkan.
- Timbangan kapasitas 560 g dengan ketelitian 0,1 g.
- Pelat kaca berukuran 10,25 x 10,25 x 0,5 cm dan 11 x 11,2 x 0,2 cm.

Pengujian dilakukan pada semua variasi komposisi bahan campuran tahap pertama dan kedua. Hasil ini akan digunakan dalam pembuatan benda uji. Tabel 4.2 menunjukkan hasil uji konsistensi normal semen dan *fly ash*. Contoh perhitungan berat semen dan *fly ash* dapat dilihat sebagai berikut:

- Pada komposisi semen : *fly ash* = 70 : 30  
Komposisi semen =  $70\% \times 300 \text{ g} = 210 \text{ g}$   
Komposisi *fly ash* =  $30\% \times 300 \text{ g} = 90 \text{ g}$   
Cara perhitungan ini berlaku juga pada komposisi yang lainnya.

Tabel 4. 2 Hasil uji konsistensi normal semen dan *fly ash*

Perbandingan komposisi (%)		Perbandingan berat (g)		Volume aquades yang dibutuhkan (mL)
Semen	<i>Fly ash</i>	Semen	<i>Fly ash</i>	
100	0	100	0	82
90	10	270	30	81
80	20	240	60	75

70	30	210	90	73
60	40	180	120	72

Berdasarkan Tabel 4.2, semakin banyak jumlah *fly ash* yang ditambahkan, maka semakin sedikit jumlah aquades yang diperlukan. Hal ini disebabkan oleh sifat *fly ash* yang mudah mengeras apabila dicampurkan dengan air. Shalahuddin (2009) juga turut menyatakan bahwa dengan adanya penambahan air pada *fly ash* dapat membentuk senyawa stabil yang sifatnya sama seperti semen.

Selanjutnya, dilakukan pembuatan benda uji dengan penambahan aquades sesuai dengan hasil uji konsistensi normal. Masa perawatan untuk benda uji minimal 28 hari. Kemudian dilakukan uji kuat tekan dan TCLP untuk menentukan komposisi optimum. Berdasarkan kedua uji tersebut diperoleh nilai optimum semen : *fly ash* adalah 90 : 10. Komposisi tersebut digunakan pada tahap kedua, dimana akan ditambahkan hidrokarbon ke dalam campuran semen dan *fly ash*. Komposisi hidrokarbon yang digunakan adalah 2,5%; 5%; 7,5%; dan 10%. Sebelum dilakukan pembuatan benda uji pada tahap kedua, dilakukan terlebih dahulu uji konsistensi normal. Hasil uji konsistensi normal tahap kedua disajikan pada Tabel 4.3. Perhitungan berat pada tahap kedua dilakukan terlebih dahulu terhadap hidrokarbon, kemudian dilakukan perhitungan terhadap semen dan *fly ash*. Contoh perhitungan berat hidrokarbon, semen, dan *fly ash* dapat dilihat sebagai berikut:

- Komposisi optimum campuran semen dan *fly ash* = 90 : 10 dengan kandungan hidrokarbon 5%, maka:  
 Berat hidrokarbon =  $5\% \times 300 \text{ g} = 15 \text{ g}$   
 Berat benda uji setelah ditambah berat hidrokarbon =  $300 \text{ g} - 15 \text{ g} = 285 \text{ g}$   
 Berat semen dan *fly ash* dapat dihitung dengan menggunakan berat benda uji setelah ditambah berat hidrokarbon.  
 Berat semen =  $90\% \times 285 \text{ g} = 256,5 \text{ g}$   
 Berat *fly ash* =  $10\% \times 285 \text{ g} = 28,5 \text{ g}$

Tabel 4. 3 Hasil uji konsistensi normal semen, *fly ash*, dan hidrokarbon

Komposisi hidrokarbon (%)	Perbandingan berat (g)			Volume aquades yang dibutuhkan (mL)
	Hidrokarbon	Semen	<i>Fly ash</i>	
2,5	7,5	263,25	29,25	75
5	15	256,5	28,5	72
7,5	22,5	249,75	227,75	70
10	30	243	27	68,5

#### 4.4 Uji Kuat Tekan

Menurut SNI 03-1974-1990, uji kuat tekan diartikan sebagai besarnya beban per satuan luas. Benda uji hasil proses S/S akan hancur apabila diberi gaya tekan tertentu oleh mesin kuat tekan, yang dapat dilihat pada Gambar 2.4. Benda uji yang memiliki variasi jenis bahan dan komposisi memiliki nilai kuat tekan yang berbeda. Berdasarkan dengan keputusan kepala BAPEDAL No Kep 03/BAPEDAL/09/1995 tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, nilai minimum tekan adalah 10 ton/m<sup>2</sup>.

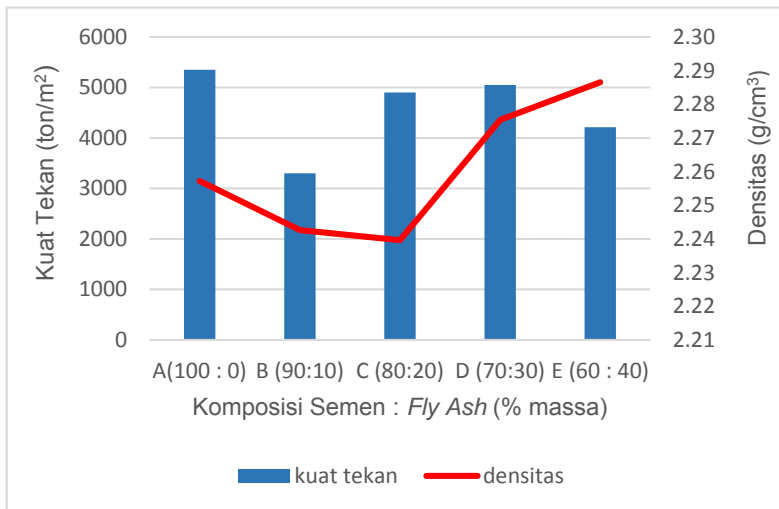
##### 4.4.1 Uji Kuat Tekan tahap Pertama

Pada tahap pertama ini dilakukan uji kuat tekan terhadap 10 benda uji. Sepuluh benda uji tersebut terdiri dari 5 variasi komposisi campuran semen *portland* dan *fly ash* yang berbeda. Setiap komposisi benda uji dilakukan pengulangan sebanyak dua kali. Dua benda uji pada komposisi yang sama akan mendapat perlakuan yang sama tetapi memiliki nilai kuat tekan yang berbeda. Nilai kuat tekan yang berbeda tersebut akan dirata-ratakan sebagai hasil akhir nilai kuat tekan pada tiap komposisi. Tabel 4.4 menunjukkan hasil kuat tekan pada tahap pertama.

Tabel 4. 4 Hasil kuat tekan tahap pertama

Sampel		Perbandingan komposisi (%)		Berat (g)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Nilai kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Nilai kuat tekan (ton/m <sup>2</sup> )	Nilai rata-rata kuat tekan (ton/m <sup>2</sup> )	Baku mutu nilai kuat tekan (ton/m <sup>2</sup> )
		Semen	<i>Fly ash</i>						
A	A1	100	0	282,58	25	590	5900	5350	10
	A2	100	0	281,72	25	480	4800		10
B	B1	90	10	275,68	25	320	3200	3300	10
	B2	90	10	284,98	25	340	3400		10
C	C1	80	20	280,80	25	460	4600	4900	10
	C2	80	20	279,09	25	520	5200		10
D	D1	70	30	286,85	25	409,6	4096	5048	10
	D2	70	30	281,99	25	600	6000		10
E	E1	60	40	282,79	25	521,6	5216	4213	10
	E2	60	40	288,85	25	321	3210		10

Berdasarkan Tabel 4.4, diperoleh nilai kuat tekan terbesar dan terkecil. Nilai kuat tekan terbesar dihasilkan oleh benda uji D yaitu 5048 ton/m<sup>2</sup>, dimana komposisi semen : *fly ash* = 70 : 30. Hasil kuat tekan yang besar ini tentu dipengaruhi adanya SiO<sub>2</sub> dan CaO pada *fly ash* sehingga membentuk kekuatan yang tinggi. Selain itu faktor penambahan aquades yang tidak terlalu besar pada komposisi ini membantu proses hidrasi semen yang cepat sehingga diperoleh kekuatan awal yang baik. Sedangkan nilai kuat tekan terkecil dihasilkan oleh benda uji B yaitu 3300 ton/m<sup>2</sup>, dimana komposisi semen : *fly ash* = 60 : 40. Hasil ini dipengaruhi oleh jumlah aquades yang besar sehingga proses hidrasi semen menjadi lambat. Apabila proses hidrasi semen lambat, maka proses pengerasan juga terjadi lambat. Peningkatan nilai kuat tekan pada penelitian ini terjadi hingga kandungan *fly ash* 30%. Nilai kuat tekan ini tentu dipengaruhi oleh densitas yang dimiliki oleh tiap sampel. Hubungan antara densitas dan kuat tekan ini digambarkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Grafik hubungan antara nilai kuat tekan tahap pertama dan densitas



Berdasarkan Gambar 4.4, nilai densitas tertinggi dihasilkan oleh benda uji E dan nilai densitas terendah dihasilkan oleh benda uji C. Secara teoritis, nilai densitas berbanding lurus dengan nilai kuat tekan. Hal ini berarti semakin tinggi nilai densitasnya maka nilai kuat tekannya juga semakin tinggi, begitu juga berlaku sebaliknya. Menurut Mizwar dkk (2012), terdapat dua faktor yang mempengaruhi densitas dan kuat tekan. Kedua faktor yang dimaksud adalah:

1. Porositas

Porositas ini dapat disebabkan oleh adanya substitusi penggunaan butiran pasir halus dan lumpur berminyak. Nilai porositas akan berpengaruh pada nilai serapan air dan densitas sampel. Selain itu, faktor ini secara langsung juga mempengaruhi kualitas sampel dalam menstabilisasi logam berat.

2. Nilai resapan air

Nilai resapan air ini dipengaruhi oleh nilai porositas yang dimiliki sampel. Faktor ini memiliki nilai berbanding lurus dengan porositas. Hal ini berarti semakin tingginya nilai resapan air, maka nilai porositasnya juga semakin tinggi, begitu pula sebaliknya. Nilai resapan air dapat menunjukkan kualitas ketahanan sampel terhadap air dan kelayakan untuk menahan terjadinya pelindian logam berat.

Faktor nilai resapan air tersebut tentu akan menjadi pengaruh dari proses hidrasi semen. Alasannya adalah jumlah air yang diserap oleh mineral dalam semen akan mempengaruhi laju pengerasan dari semen *portland*. Mizwar dkk (2012) juga menyatakan bahwa proses pengerasan terjadi karena adanya proses hidrasi terjadi pada saat semen bersentuhan dengan air. Kekuatan sampel akan bertambah seiring dengan bertambah umurnya sampel sampai proses hidrasi tidak terjadi lagi.

Namun pada kenyataannya, Gambar 4.4 menunjukkan adanya hasil densitas dan kuat tekan yang berbanding terbalik. Hal ini terjadi pada benda uji C dan E. Pada benda uji C, nilai kuat tekan meningkat sedangkan nilai densitasnya turun. Kemungkinan penyebabnya adalah adanya tingkat eror dari alat kuat yang digunakan. Selain itu, adanya faktor air semen yang rendah sehingga proses hidrasi semen terjadi begitu cepat. Akibatnya, proses pengerasan juga terjadi dalam waktu yang singkat.

Berikutnya, pada benda uji E memiliki nilai densitas yang tinggi namun nilai kuat tekan yang dihasilkan menurun. Kemungkinan penyebabnya adalah adanya logam Cr(VI) yang menurunkan kekuatan sampel. Menurut Utomo (2008), penambahan kromium ke dalam semen pada awalnya meningkatkan kekuatan semen dalam jangka waktu singkat. Setelah itu, keberadaan kromium tersebut menurunkan kekuatan semen. Faktor lainnya adalah keberadaan  $Pb(NO_3)_2$  yang menghalangi proses hidrasi sehingga proses pengerasan menjadi lambat. Utomo (2008) menyatakan bahwa kuat tekan bentuk tersolidifikasi berkurang seiring dengan penambahan  $Pb(NO_3)_2$  ke dalam semen.

Selain dari faktor-faktor tersebut, dapat dimungkinkan adanya pengaruh dari semen dan *fly ash* terhadap nilai kuat tekan yang dihasilkan. Untuk mengetahui pengaruh tersebut, digunakan analisis ANOVA. Analisis ANOVA yang digunakan adalah ANOVA *one way*. ANOVA *one way* ini digunakan karena dalam hal ini pengaruh yang ingin dilihat hanya satu jenis yaitu nilai kuat tekan. Sedangkan, faktor yang dilihat ada 2 jenis, yaitu semen dan *fly ash*. Nilai pengaruh atau tidaknya dapat dilihat berdasarkan nilai P. Apabila nilai  $P < \alpha$  maka ada pengaruh yang signifikan. Sedangkan apabila nilai  $P > \alpha$  maka tidak ada pengaruh yang signifikan. Adapun nilai  $\alpha$  yang dimaksud adalah 0,05. Hal ini berarti bahwa tingkat ketelitiannya adalah 95%. Berikut merupakan hasil analisis ANOVA pengaruh semen dan *fly ash* terhadap nilai kuat tekan yang disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil analisis ANOVA pengaruh semen dan *fly ash* terhadap nilai kuat tekan

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	27768	27768	0,03	0,871
Residual Error	3	2658161	886054		
Total	2685829	0,00005200			

Berdasarkan tabel 4.5, nilai P yang dihasilkan sebesar 0,871. Nilai P ini  $>$  dari nilai  $\alpha = 0,05$ . Hal ini menunjukkan bahwa semen dan *fly ash* tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat tekan.

#### **4.4.2 Uji Kuat Tekan Tahap Kedua**

Pada tahap kedua ini dilakukan uji kuat tekan terhadap 8 benda uji. Delapan benda uji tersebut terdiri dari 4 variasi komposisi hidrokarbon yang berbeda yang ditambahkan ke dalam campuran optimum semen : *fly ash* = 90 : 10. Setiap komposisi benda uji dilakukan pengulangan sebanyak dua kali. Dua benda uji pada komposisi yang sama akan mendapat perlakuan yang sama tetapi memiliki nilai kuat tekan yang berbeda. Nilai kuat tekan yang berbeda tersebut akan dirata-ratakan sebagai hasil akhir nilai kuat tekan pada tiap komposisi. Tabel 4.6 menunjukkan hasil kuat tekan pada tahap kedua.

Tabel 4. 6 Nilai kuat tekan tahap kedua

Sampel	Perbandingan komposisi massa (%)			Berat (g)	Luas (cm <sup>2</sup> )	Nilai kuat tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Nilai kuat tekan (ton/m <sup>2</sup> )	Nilai rata-rata kuat tekan (ton/m <sup>2</sup> )	Baku mutu nilai kuat tekan (ton/m <sup>2</sup> )
	Semen	<i>Fly ash</i>	Parafin						
H2,5	90	10	2,5	267,18	25	540	5400	4327	10
H2,5'	90	10	2,5	282,17	25	325,4	3254		10
H5	90	10	5	258,40	25	470,4	4704	4747	10
H5'	90	10	5	262,78	25	479	4790		10
H7,5	90	10	7,5	280,1	25	320,8	3208	3344	10
H7,5'	90	10	7,5	279,76	25	348	3480		10
H10	90	10	10	268,83	25	325	3250	3750	10
H10'	90	10	10	268,20	25	425	4250		10

Berdasarkan Tabel 4.4, diperoleh nilai kuat tekan terbesar dan terkecil. Nilai kuat tekan terbesar dihasilkan oleh benda uji dengan hidrokarbon 5% (H5) yaitu 4747 ton/m<sup>2</sup>. Sedangkan nilai kuat tekan terkecil dihasilkan oleh benda uji dengan hidrokarbon 7,5% yaitu 3344 ton/m<sup>2</sup>, dimana komposisi semen : *fly ash* = 60 : 40. Nilai kuat tekan ini tentu dipengaruhi oleh porositas dan densitas yang dimiliki sampel. Adapun nilai porositas diperoleh dari uji sifat fisik batuan yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah, Jurusan Teknik Sipil, FTSP-ITS. Nilai porositas dan densitas dari setiap sampel akan disajikan dalam Tabel 4.7 yang kemudian digambarkan pada Gambar 4.5.

Tabel 4. 7 Nilai densitas dan porositas tahap kedua

Sampel	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Porositas (%)
H2,5	2,20	9,23
H5	2,08	13,26
H7,5	2,15	15,79
H10	2,24	15,71

Apabila dilihat secara keseluruhan, range nilai densitas porositas dan densitas tiap variasi komposisi hidrokarbon yang dihasilkan tidak terlalu berbeda jauh. Kemungkinan hal ini disebabkan adanya pencampuran adonan sampel yang kurang homogen. Sehingga, perbedaan nilai kuat tekan yang dihasilkan tidak berbeda jauh juga.

Selain itu, pada uji kuat tekan yang kedua ini dapat dilihat juga bahwa tidak adanya pengaruh hidrokarbon yang signifikan terhadap nilai kuat tekan. Hal ini dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan tahap kedua dengan komposisi semen : *fly ash* = 90 : 10 lebih besar dibandingkan tahap pertama. Menurut Leonard dan Stegemann (2010), penambahan hidrokarbon dalam proses S/S dapat mengganggu proses pengerasan produk S/S. Namun pada penelitian ini, hasilnya tidak sesuai dengan teori tersebut. Hal ini dimungkinkan jenis hidrokarbon yang dimaksud dalam teori tersebut bukan jenis parafin. Untuk memastikan tidak adanya pengaruh hidrokarbon terhadap nilai kuat tekan, maka dilakukan

analisis ANOVA. Tabel 4.8 menunjukkan hasil analisis ANOVA pengaruh hidrokarbon terhadap nilai kuat tekan.

Tabel 4. 8 Hasil analisis ANOVA pengaruh hidrokarbon terhadap nilai kuat tekan

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	491098	491098	1,49	0,347
Residual Error	2	659620	329810		
Total	3	1150718			

Berdasarkan tabel 4.8, nilai P yang dihasilkan sebesar 0,347. Nilai P ini > dari nilai  $\alpha = 0,05$ . Hal ini menunjukkan bahwa hidrokarbon berupa parafin tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat tekan.

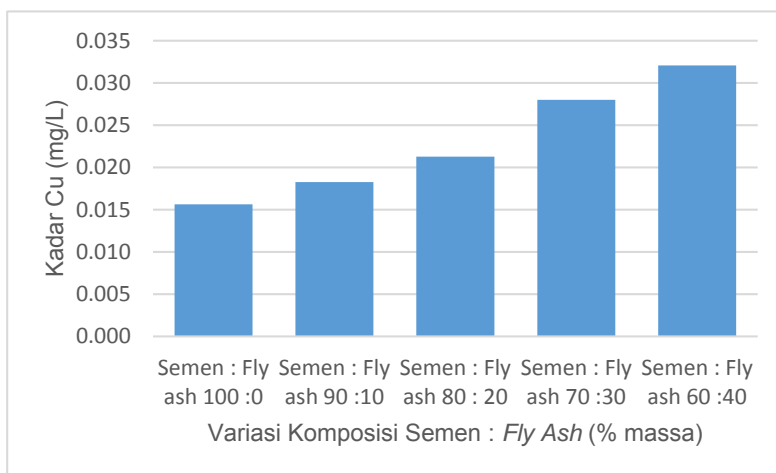
#### 4.5 Uji TCLP

Jika uji kuat tekan selesai dilakukan, maka selanjutnya adalah uji TCLP. Uji TCLP bertujuan untuk mengetahui kandungan toksisitas pada benda uji proses S/S akibat proses *leaching*. Menurut Gailius dkk (2010), Uji TCLP menggunakan proses ekstraksi dimana setiap logam berat atau kontaminan akan terlepas.

Pada penelitian ini, benda uji tahap pertama dan tahap kedua akan dilakukan uji TCLP terhadap tiga macam logam berat, yaitu Cu, Cr(VI), dan Pb. Setiap logam berat memiliki nilai baku mutu TCLP yang berbeda. Hal ini diatur dalam Lampiran II Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999, dimana baku mutu TCLP untuk Cu= 10mg/L, Cr(VI)= 5 mg/L, dan Pb= 5 mg/L. Tahap pertama memiliki 10 benda uji, sedangkan tahap kedua memiliki 8 benda uji. Tahap pertama memiliki 5 variasi komposisi komposisi campuran semen dan *fly ash* dengan pengulangan sebanyak dua kali. Hal tersebut berlaku juga untuk tahap kedua yang memiliki 4 variasi komposisi campuran semen dan *fly ash*. Setiap benda uji yang memiliki variasi komposisi yang berbeda tentu akan memiliki nilai TCLP yang berbeda juga pada masing-masing logam berat.

#### 4.5.1 Uji TCLP Logam Cu

Cu bersifat logam berat meskipun dibutuhkan dalam tubuh dalam jumlah yang sangat sedikit (Martuti, 2012). Apabila Cu berikatan dengan ion-ion lain maka akan membentuk senyawa bervalensi +1 dan +2 (Apriliani, 2010). Pengujian TCLP logam Cu ini menggunakan metode neocuproine dengan alat spektrofotometer. Prinsip metode neocuproine adalah reaksi antara  $\text{Cu}^+$  dengan 2,9 dimethyl-1,10-phenanthroline (neocuproine) untuk membentuk senyawa kompleks yaitu 2 mol neocuproine yang terikat pada 1 mol ion  $\text{Cu}^+$ . Senyawa kompleks ini diekstraksi menggunakan kloroform dan methanol yang bertujuan untuk memberikan warna kuning pada larutan. Kemudian, sampel diukur absorbansinya dengan panjang gelombang 450 nm. Hasil uji TCLP Cu tahap pertama dapat dilihat pada Gambar 4.5. Adapun hasil TCLP Cu ini baik tahap pertama maupun kedua didasarkan pada kurva kalibrasi dalam Lampiran A.



Gambar 4. 5 Hasil uji TCLP logam Cu tanpa hidrokarbon

Berdasarkan Gambar 4.6, hasil TCLP logam Cu mengalami peningkatan yang stabil. Kadar Cu tertinggi dimiliki oleh komposisi semen : *fly ash* = 60 : 40. Sedangkan komposisi semen : *fly ash* = 100 : 0 menghasilkan kadar Cu terendah. Peningkatan kadar Cu

dari komposisi 100 : 0 hingga 60 : 40 dimungkinkan adanya pengaruh dari efektifitas dari semen yang mampu menahan pelindian. Menurut Akhter (1990), semen dalam jumlah yang banyak memiliki efektifitas yang tinggi dibandingkan dengan adonan yang dicampur *fly ash* atau sejenisnya. Maka dari itu dengan jumlah semen yang sedikit akan meningkatkan jumlah pelindian yang terjadi. Faktor lainnya adalah ukuran luas permukaan yang tersedia. Dalam hal ini, luas permukaan produk S/S berukuran kecil. Utomo (2008) menyatakan bahwa semakin kecil luas permukaan limbah maka jumlah pelindian logam berat juga semakin meningkat. Faktor berikutnya adalah pengaruh pH. Produk S/S dengan semen memiliki kapasitas penetralan asam sebesar 8-20 meq/g. Nilai ini menghasilkan nilai pH 12-13. Namun, metode neucuproine ini menghasilkan pH yang asam (kurang dari pH 6). Dengan demikian, kapasitas penetralan asam dari produk S/S terganggu sehingga mobilitas logam meningkat (Utomo dan Laksono, 2007).

Pengaruh semen dan *fly ash* terhadap hasil TCLP logam Cu ini akan diperoleh dengan menggunakan analisis ANOVA. Analisis ANOVA yang digunakan adalah ANOVA *one way*. ANOVA *one way* ini digunakan karena dalam hal ini pengaruh yang ingin dilihat hanya satu jenis yaitu nilai TCLP logam Cu. Sedangkan, faktor yang dilihat ada 2 jenis, yaitu semen dan *fly ash*. Nilai pengaruh atau tidaknya dapat dilihat berdasarkan nilai P. Apabila nilai  $P < \alpha$  maka ada pengaruh yang signifikan. Sedangkan apabila nilai  $P > \alpha$  maka tidak ada pengaruh yang signifikan. Adapun nilai  $\alpha$  yang dimaksud adalah 0,05. Hal ini berarti bahwa tingkat ketelitiannya adalah 95%. Berikut ini hasil analisis ANOVA pengaruh semen dan *fly ash* terhadap hasil TCLP logam Cu tanpa hidrokarbon yang disajikan dalam Tabel 4.9.

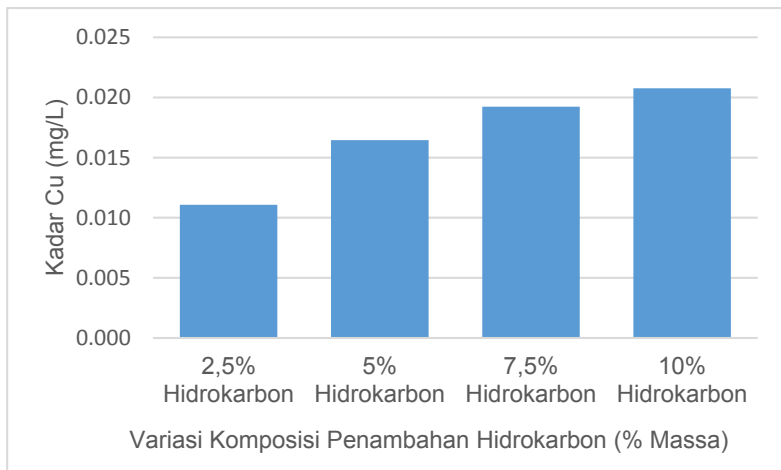
Tabel 4. 9 Hasil analisis ANOVA pengaruh semen dan *fly ash* terhadap hasil TCLP logam Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1,6590	1,6598	15,50	0,022
Residual Error	2	0,3119	0,1045		
Total	3	1,9709			



Tabel 4.9 menunjukkan nilai P sebesar 0,022 yang berarti nilai lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ . Sesuai dengan pernyataan diatas, nilai  $P < \alpha$  dapat diartikan bahwa semen dan *fly ash* memiliki pengaruh yang signifikan dalam hasil TCLP logam Cu.

Selanjutnya akan disajikan hasil TCLP logam Cu dari tahap kedua dalam Gambar 4.6. Tahap kedua merupakan variasi komposisi hidrokarbon yang ditambahkan ke dalam campuran komposisi optimum semen dan *fly ash*.



Gambar 4. 6 Hasil uji TCLP logam Cu dengan hidrokarbon

Berdasarkan Gambar 4.7, peningkatan kadar Cu stabil hingga komposisi hidrokarbon sebesar 10%. Peningkatan kadar Cu tersebut dimungkinkan adanya keberadaan methanol dan kloroform yang bertindak sebagai pelarut organik. Pelarut organik ini mampu melarutkan setiap bahan organik termasuk parafin. Apabila parafin dilarutkan maka akan berdampak pada jumlah pelindian yang semakin meningkat. Faktor lainnya adalah porositas yang dihasilkan. Porositas yang dimiliki benda uji cukup besar. Akibatnya adalah tidak mampu menahan proses pelindian yang terjadi. Jika dilihat dari faktor teknis, pembuatan adonan pada penelitian ini juga kurang homogen. Dengan demikian, keberadaan

hidrokarbon dalam adonan kurang mengganggu proses pelindian. Adanya pengaruh hidrokarbon terhadap hasil TCLP logam Cu dianalisis dengan metode ANOVA. Hasil analisis ANOVA pengaruh hidrokarbon terhadap hasil TCLP logam Cu disajikan dalam Tabel 4.10.

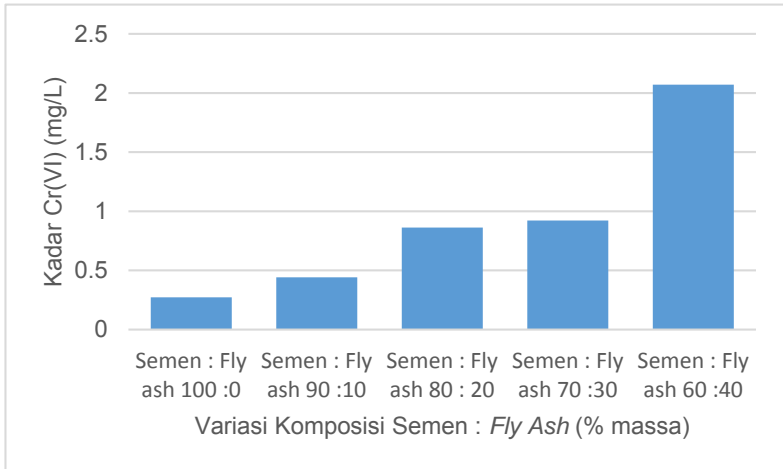
Tabel 4. 10 Hasil analisis ANOVA pengaruh hidrokarbon terhadap hasil TCLP logam Cu

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1,6680	1,6598	30,00	0,026
Residual Error	2	0,3129	0,1045		
Total	3	1,9809			

Tabel 4.10 menunjukkan nilai P sebesar 0,026 yang berarti nilai lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ . Sesuai dengan pernyataan diatas, nilai  $P < \alpha$  dapat diartikan bahwa hidrokarbon berupa parafin memiliki pengaruh yang signifikan dalam hasil TCLP logam Cu.

#### 4.5.2 Uji TCLP Logam Cr(VI)

Menurut sifat-sifat kimianya, logam Cr memiliki bilangan oksidasi +2, +3, dan +6. Sesuai dengan tingkat valensi yang berbeda, ion-ion kromium yang telah membentuk senyawa, memiliki sifat yang berbeda-beda. Senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr(II) akan bersifat basa, senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr(III) bersifat amfoter, dan senyawa yang terbentuk dari ion logam Cr(VI) akan bersifat asam (Apriliani, 2010). Uji TCLP Cr(VI) menggunakan metode kolorimetri. Prinsip dari metode kolorimetri adalah adanya reaksi dengan diphenylcarbazide pada larutan asam yang menghasilkan warna merah keunguan. Larutan ini yang akan diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm. Berikut ini merupakan hasil TCLP logam Cr(VI) yang disajikan dalam Gambar 4.7. Adapun hasil TCLP logam Cr(VI) didasarkan pada kurva kalibrasi yang disajikan dalam Lampiran A.



Gambar 4. 7 Hasil uji TCLP logam Cr(VI) tanpa hidrokarbon

Berdasarkan Gambar 4.7, diperoleh nilai TCLP dari logam Cr(VI) yang meningkat seiring bertambah jumlah dari *fly ash*. Hal ini dimungkinkan adanya pengaruh pH dari tiap sampel. Menurut Utomo dan Laksono (2007), produk S/S dengan semen memiliki kapasitas penetralan asam sebesar 8-20 meq/g. Nilai ini menghasilkan nilai pH 12-13. Namun, metode kolorimetri ini menghasilkan pH yang asam (pH=2). Dengan demikian, kapasitas penetralan asam dari produk S/S terganggu sehingga mobilitas logam meningkat. Jain dan Garg (2007) juga menyatakan bahwa pelindian Cr(VI) akan meningkat pada pH yang bersifat asam. Faktor lainnya adalah waktu *curing*. Waktu *curing* yang singkat yaitu 28 hari akan menyebabkan pelindian Cr(VI) meningkat. Penurunan jumlah pelindian Cr(VI) akan terjadi apabila digunakan waktu *curing* lebih dari 90 hari. Meskipun demikian, secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa nilai Cr(VI) dari seluruh sampel telah memenuhi baku mutu yaitu 5 mg/L.

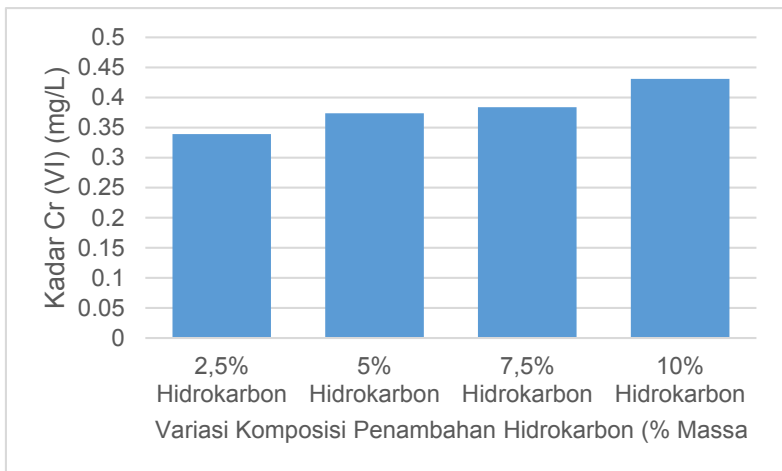
Pengaruh semen dan *fly ash* terhadap hasil TCLP logam Cr(VI) dianalisis dengan metode ANOVA. Hasil analisis ini disajikan dalam Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Hasil analisis ANOVA pengaruh semen dan *fly ash* terhadap hasil TCLP logam Cr (VI)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1,6597	1,6597	15,91	0,028
Residual Error	2	0,3130	0,1043		
Total	3	1,9727			

Tabel 4.11 menunjukkan nilai P sebesar 0,028 yang berarti nilai lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ . Sesuai dengan pernyataan diatas, nilai  $P < \alpha$  dapat diartikan bahwa hidrokarbon memiliki pengaruh yang signifikan dalam hasil TCLP logam Cu. Hal ini terlihat pada Gambar 4.9 yang menunjukkan terjadinya peningkatan yang stabil hasil TCLP logam Cr(VI).

Selanjutnya akan disajikan hasil TCLP logam Cr(VI) dari tahap kedua dalam Gambar 4.8. Tahap kedua merupakan variasi komposisi hidrokarbon yang ditambahkan ke dalam campuran komposisi optimum semen dan *fly ash*.



Gambar 4. 8 Hasil uji TCLP logam Cr (VI) dengan hidrokarbon

Berdasarkan Gambar 4.8, semakin banyak penambahan hidrokarbon maka hasil kadar Cr (VI) semakin meningkat. Hal ini terjadi karena dimungkinkan hidrokarbon tidak mampu mengurangi jumlah *leaching* logam Cr (VI). Selain itu, Gambar 4.8 juga menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan setiap komposisi. Kemungkinan hal ini terjadi karena faktor teknis yaitu pada saat pencampuran adonan sampel kurang homogen. Pengaruh hidrokarbon terhadap hasil TCLP logam Cr (VI) dianalisis dengan metode ANOVA dan disajikan dalam Tabel 4.12.

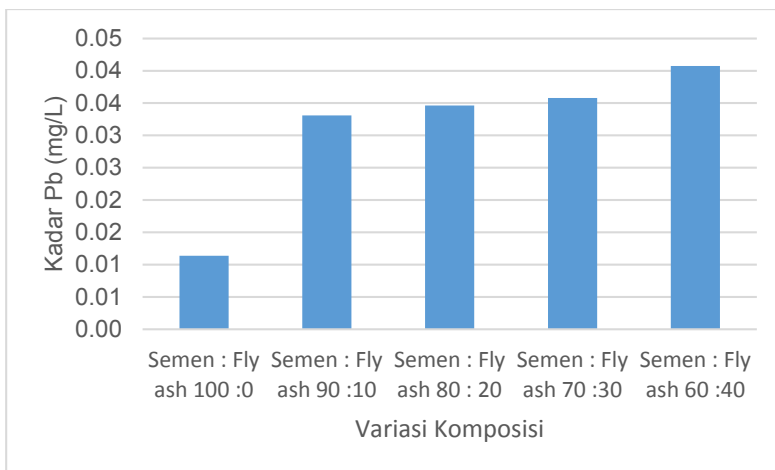
Tabel 4. 12 Hasil analisis ANOVA pengaruh hidrokarbon terhadap hasil TCLP logam Cr (VI)

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,00040898	0,00040898	35,84	0,027
Residual Error	2	0,00002282	0,00001141		
Total	3	0,00043180			

Tabel 4.12 menunjukkan nilai P sebesar 0,027 yang berarti nilai lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ . Sesuai dengan pernyataan diatas, nilai  $P < \alpha$  dapat diartikan bahwa hidrokarbon berupa parafin memiliki pengaruh yang signifikan dalam hasil TCLP logam Cr (VI).

#### 4.5.3 Uji TCLP Logam Pb

Pb merupakan logam yang lunak dan tahan terhadap korosi atau karat. Senyawa Pb dapat ditentukan dalam bentuk ion-tetravalen ( $Pb^{2+}$ ,  $Pb^{4+}$ ). Uji logam Pb dilakukan dengan metode dithizone. Prinsip dari metode dithizone adalah menggunakan sampel yang mengandung sejumlah Pb dicampur dengan *ammoniacal citrate-cyanide reducing solution* dan diekstrak menggunakan dithizone dengan kloroform. Hal ini bertujuan untuk membentuk timbal dithizone berwarna kemerahan. Berikut ini merupakan hasil TCLP logam Pb yang disajikan dalam Gambar 4.9. Adapun hasil TCLP logam Pb didasarkan pada kurva kalibrasi Pb yang disajikan dalam Lampiran A.



Gambar 4. 9 Hasil uji TCLP logam Pb tanpa hidrokarbon

Berdasarkan Gambar 4.9, hasil TCLP logam Pb mengalami peningkatan hingga komposisi semen : *fly ash* = 60 : 40. Hal ini dikarenakan semen *portland* tipe I mampu menahan proses pelindian Pb dengan baik. Sedangkan *fly ash* dalam jumlah terlalu banyak tidak mampu menahan jumlah pelindian yang terjadi. Menurut Akhter (1990), semen *portland* tipe I memiliki tingkat efektivitas yang tinggi dibandingkan dengan campuran pozzolan lain seperti *fly ash* dan kapur. Dengan demikian, semakin banyak jumlah semen dalam produk S/S dapat menurunkan hasil *leaching* Pb. Faktor lainnya adalah pengaruh pH dari tiap sampel. Menurut Utomo dan Laksono (2007), produk S/S dengan semen memiliki kapasitas penetralan asam sebesar 8-20 meq/g. Nilai ini menghasilkan nilai pH 12-13. Namun, metode kolorimetri ini menghasilkan pH yang asam (pH=2). Jika kapasitas penetralan asam dari produk S/S terganggu maka mobilitas logam meningkat.

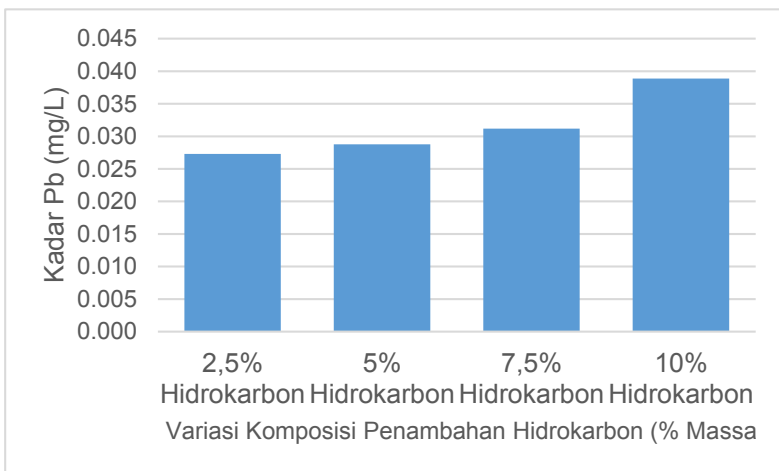
Ada atau tidaknya pengaruh semen dan *fly ash* terhadap hasil TCLP logam Pb dianalisis dengan metode ANOVA. Hasil analisis ANOVA ini disajikan dalam Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Hasil analisis ANOVA pengaruh semen dan *fly ash* terhadap hasil TCLP logam Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	1,6597	1,6597	12,76	0,030
Residual Error	2	0,3130	0,1043		
Total	3	1,9727			

Tabel 4.13 menunjukkan nilai P sebesar 0,030 yang berarti nilai lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ . Sesuai dengan pernyataan diatas, nilai  $P < \alpha$  dapat diartikan bahwa semen dan *fly ash* memiliki pengaruh yang signifikan dalam hasil TCLP logam Pb.

Selanjutnya akan disajikan hasil TCLP logam Pb dari tahap kedua dalam Gambar 4.10. Tahap kedua merupakan variasi komposisi hidrokarbon yang ditambahkan ke dalam campuran komposisi optimum semen dan *fly ash*.



Gambar 4. 10 Hasil uji TCLP logam Pb dengan hidrokarbon

Berdasarkan Gambar 4.10, komposisi hidrokarbon sebesar 10% memiliki nilai kadar Pb yang sangat tinggi. Sebaliknya, benda uji dengan komposisi hidrokarbon 2,5% menghasilkan nilai kadar Pb terkecil. Hal ini dimungkinkan bahwa

keberadaan kloroform berfungsi sebagai pelarut organik. Dengan demikian, hidrokarbon akan terlarut dan jumlah pelindian semakin meningkat. Peningkatan jumlah pelindian diikuti dengan seiring bertambahnya jumlah hidrokarbon yang ditambahkan. Selain itu, dimungkinkan adanya porositas yang besar sehingga jumlah pelindian yang dihasilkan semakin meningkat. Pengaruh hidrokarbon terhadap hasil TCLP logam Cr (VI) dianalisis dengan metode ANOVA. Hasil analisis ini disajikan dalam Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Hasil analisis ANOVA pengaruh hidrokarbon terhadap nilai TCLP logam Pb

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0,00040897	0,00050897	45,84	0,026
Residual Error	2	0,00002283	0,00001151		
Total	3	0,00043180			

Tabel 4.14 menunjukkan nilai P sebesar 0,026 yang berarti nilai lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ . Sesuai dengan pernyataan diatas, nilai  $P < \alpha$  dapat diartikan bahwa hidrokarbon berupa parafin memiliki pengaruh yang signifikan dalam hasil TCLP logam Pb.

#### 4.6 Uji *Paint Filter Test*

*Paint Filter Test* bertujuan untuk mengetahui adanya kandungan *free liquid* dari proses S/S. Uji ini dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS. Kertas saring yang digunakan pada uji ini yaitu merk Blue Hawk. Hasil yang diperoleh dari tahap kedua disajikan dalam Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 Hasil *Paint Filter Test*

Benda Uji	% Massa parafin	Hasil
H2,5	2,5	Tidak ada cairan bebas
H5	5	Tidak ada cairan bebas
H7,5	7,5	Tidak ada cairan bebas
H10	10	Tidak ada cairan bebas

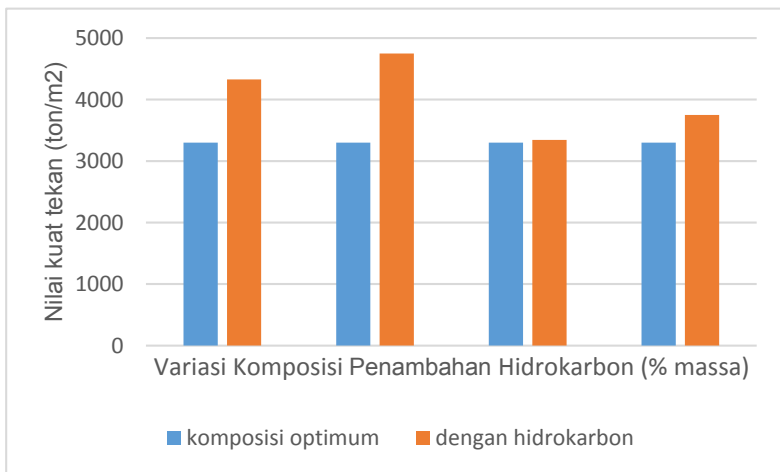
Berdasarkan Tabel 4.15, setiap benda uji memenuhi baku mutu *paint filter test*, yaitu tidak ada cairan bebas (*free liquid*) pada



benda uji. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses S/S dengan *fly ash* dan semen *portland* mampu mengikat setiap kandungan hidrokarbon yang ada. Dengan demikian, *fly ash* cukup baik pemanfaatannya sebagai substitusi semen dalam proses S/S.

#### 4.7 Pengaruh Hidrokarbon terhadap Mutu Produk S/S

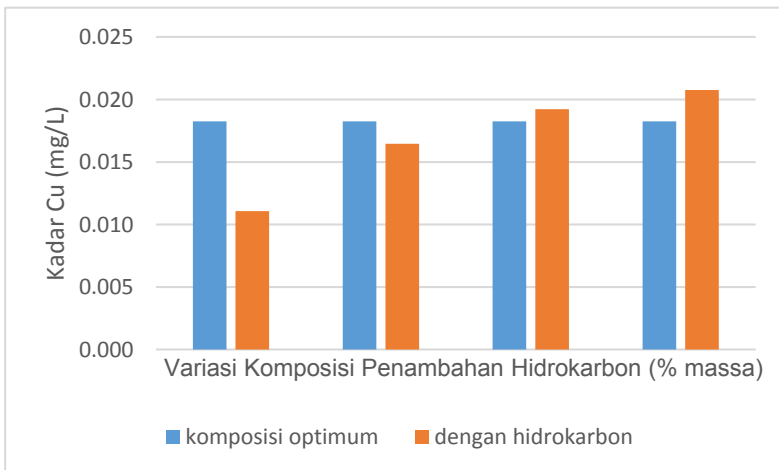
Hidrokarbon yang digunakan dalam penelitian ini adalah parafin. Hidrokarbon ini dapat mengganggu kualitas produk S/S. Dua parameter yang digunakan dalam kualitas produk S/S yaitu nilai kuat tekan dan TCLP. Kedua parameter tersebut akan dibandingkan antara komposisi optimum dengan penambahan variasi hidrokarbon. Adapun komposisi optimum yang diperoleh yaitu semen : *fly ash* = 90 : 10. Berikut ini merupakan perbandingan hasil kuat tekan antara komposisi optimum dan variasi komposisi hidrokarbon yang disajikan dalam Gambar 4.11.



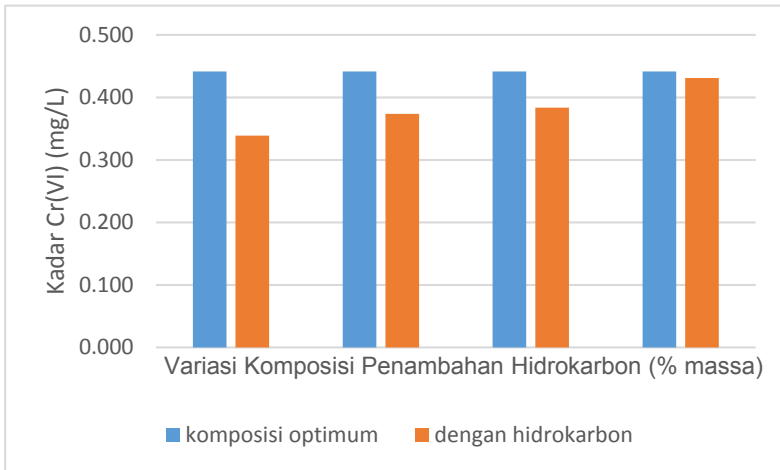
Gambar 4. 11 Perbandingan nilai kuat tekan antara komposisi optimum dengan penambahan hidrokarbon

Berdasarkan Gambar 4.11, nilai kuat tekan yang dihasilkan oleh benda uji menggunakan hidrokarbon mengalami fluktuasi yang tidak stabil. Secara teoritis, semakin banyak jumlah hidrokarbon yang ditambahkan akan menurunkan nilai densitas

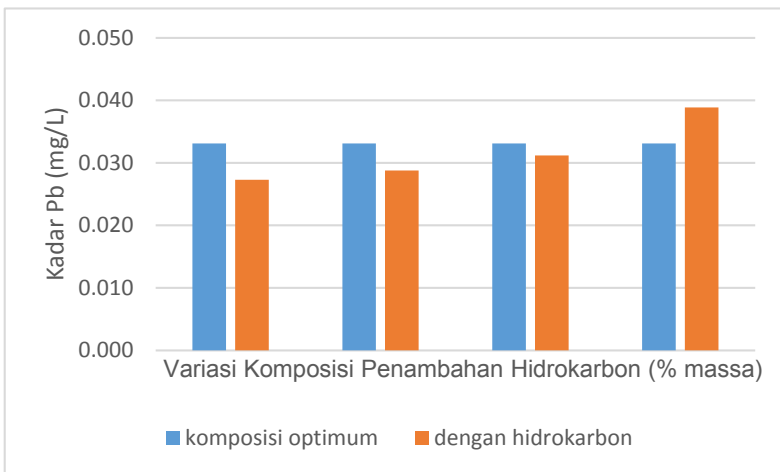
dan kuat tekan (Minocha dkk, 2003). Namun pada penelitian ini, hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan teori yang ada. Hal ini dimungkinkan adanya faktor teknis yaitu pencampuran adonan yang tidak homogen. Adapun pada saat proses penelitian, parafin yang dicampur ke dalam semen dan *fly ash* sulit tercampur menjadi satu. Sehingga, dimungkinkan adanya hidrokarbon yang tertinggal pada tempat pembuatan adonan. Faktor teknis lainnya yaitu adanya ketidakteelitian alat kuat tekan. Alat kuat tekan yang digunakan sudah berumur lebih dari 20 tahun. Hal ini tentu dapat menimbulkan tingkat eror pada proses pembacaan kuat tekan. Selain itu, diduga adanya porositas yang terdapat dalam benda uji yang tidak terlihat secara langsung. Porositas ini akan mempengaruhi tinggi rendahnya hasil kuat tekan. Selanjutnya, pengaruh hidrokarbon terhadap hasil TCLP akan disajikan dalam Gambar 4.15 hingga Gambar 4.17.



Gambar 4. 12 Perbandingan hasil TCLP Cu antara komposisi optimum dengan penambahan hidrokarbon



Gambar 4. 13 Perbandingan hasil TCLP Cr (VI) antara komposisi optimum dengan penambahan hidrokarbon



Gambar 4. 14 Perbandingan hasil TCLP Pb antara komposisi optimum dengan penambahan hidrokarbon

Berdasarkan Gambar 4.15 hingga Gambar 4.17, hasil TCLP Cu, Cr (VI), dan Pb dengan hidrokarbon lebih tinggi dibandingkan tanpa hidrokarbon. Secara teoritis, hal tersebut dimungkinkan disebabkan oleh keberadaan hidrokarbon dapat mengganggu proses pelindian. Namun pada penelitian ini hasil pelindian semakin meningkat. Hal ini dimungkinkan adanya porositas yang terdapat pada benda uji yang tidak terlihat secara langsung. Porositas pada benda uji terlihat cukup besar sehingga meningkatkan jumlah pelindian yang dihasilkan. Faktor lainnya adalah waktu *curing*. Dalam hal ini, dimungkinkan waktu *curing* yang singkat yaitu 28 hari tidak mampu menunjukkan pengaruh hidrokarbon secara signifikan terhadap hasil pelindian. Meskipun demikian, nilai TCLP Cu, Cr (VI), dan Pb telah memenuhi baku mutu.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah

1. Seluruh variasi komposisi semen dan *fly ash* telah memenuhi baku mutu nilai kuat tekan dan TCLP logam Cu, Cr (VI), dan Pb. Komposisi optimum yang diperoleh adalah semen : *fly ash* = 90 : 10. Hal ini ditentukan setelah melihat hasil TCLP ketiga logam beratnya memenuhi baku mutu dan memiliki nilai yang rendah.
2. Pengaruh zat organik berupa hidrokarbon terhadap kuat tekan tidak dapat disimpulkan karena hasilnya tidak stabil. Namun, hidrokarbon berpengaruh signifikan terhadap nilai TCLP Cu, Cr (VI), dan Pb.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Analisis Cu dengan metode neocuproine dan analisis Pb dengan metode dithizone menghasilkan hasil yang kurang akurat. Hal ini disebabkan oleh penggunaan ekstraksi kloroform dan methanol mengganggu proses pembacaan spektrofotometer. Oleh karena itu, dibutuhkan analisis Cu dan Pb dengan metode lain.
2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut mengenai daya adsorben pada *fly ash*.

## **LAMPIRAN A**

### **PROSEDUR PENELITIAN**

#### **1. Uji Kuat Tekan**

Berdasarkan ASTM C109, prosedur uji kuat tekan sebagai berikut:

1. Benda uji dikeluarkan dari cetakan (*Specimen Mold*).
2. Mesin uji kuat tekan dihidupkan dan diatur kapasitas pembebanan yang akan digunakan. Jarum penunjuk pada mesin harus dinolkan dan diset agar siap pakai.
3. Hammer pembeban diangkat dengan memutar tombol pengangkat. Benda uji diletakkan pada bidang alas hammer pembeban.
4. Hammer pembeban diturunkan hingga menyentuh permukaan benda uji.
5. Hammer pembeban diputar perlahan-lahan hingga menekan benda uji. Kecepatan pembebanan 1,4 – 3,4 kg/cm<sup>2</sup>/detik.
6. Hasil pembacaan pada meteran setelah jarum berhenti dicatat.
7. Pengujian dilakukan sampai benda uji hancur.

#### **2. Uji TCLP**

Berdasarkan USEPA method 1311 tentang *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (1992), prosedur untuk uji TCLP sebagai berikut:

- a. Preliminary evaluation
  - Sampel diayak hingga lolos saringan 10 mm.
  - 5 mg sampel dimasukkan ke dalam *beaker glass*.
  - Ditambahkan 96,5 ml aquades dan aduk selama 5 menit.
  - Dilakukan pengecekan pH. Jika :  
pH < 5, gunakan cairan ekstraksi 1.  
pH > 5, gunakan cairan ekstraksi 2.
- b. Pembuatan sampel
  - Rumus yang digunakan = 20 x berat padatan.

- Jika padatan 25 gram, maka ditambah aquades 500 ml.
- c. Cairan ekstraksi 1
  - Ditambahkan 5,7 ml asam asetat untuk tiap liter sampel ke dalam 500 ml aquades.
  - Ditambahkan 64,3 ml NaOH 1 N untuk tiap liter sampel.
  - Ditambahkan aquades hingga volume sampel yang diinginkan.
  - pH diatur hingga  $4,93 \pm 0,5$ .  
 Jika  $\text{pH} < 4,93$ ; tambahkan NaOH 1 N.  
 Jika  $\text{pH} > 4,93$ ; tambahkan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .
- d. Cairan ekstraksi 2
  - Ditambahkan 5,7 ml asam asetat untuk tiap liter sampel ke dalam 500 ml aquades.
  - pH diatur hingga  $2,88 \pm 0,5$ .  
 Jika  $\text{pH} < 2,88$ ; tambahkan NaOH 1 N.  
 Jika  $\text{pH} > 2,88$ ; tambahkan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .
- e. Rotasi dan agitasi
  - Dimasukkan sampel ke dalam botol plastik berbahan *Polyethylen*.
  - Dilakukan proses rotasi-agitasi dengan kecepatan 300 rpm, selama  $18 \pm 2$  jam.
  - Sampel disaring melalui saringan borosilicate  $0,8 \mu\text{m}$ .
  - Logam berat Cu, Cr, dan Pb dianalisis dengan metode AAS.

Penentuan konsentrasi awal limbah buatan sesuai dengan prosedur uji TCLP sebagai berikut:

- Limbah dikeringkan dalam oven pada suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 24 jam
- Masukkan 5 mg sampel ke dalam beaker glass
- Tambahkan 96,5 ml aquades dan aduk selama 5 menit
- Cek PH. Jika :  
 $\text{pH} < 5$ , gunakan cairan ekstraksi 1  
 $\text{pH} > 5$ , gunakan cairan ekstraksi 2

Selanjutnya dilakukan langkah yang sama dengan tahap b hingga e pada uji TCLP untuk benda padat.

### 3. **Paint Filter Test**

Berdasarkan USEPA Method 9095B, prosedur dari *paint filter test* sebagai berikut:

- Peralatan *paint filter test* disusun secara benar.
- Sampel ditempatkan dalam saringan dan tunggu beberapa saat hingga seluruh limbah tersaring
- Apabila terdapat material dalam limbah yang tidak sesuai dengan bentuk filter, maka diperlukan adanya penggerusan bentuk material tersebut menjadi kecil sebelum dimasukkan ke dalam filter.
- Sampel limbah yang dimasukkan ke dalam filter akan mengalir ke dalam bagian silinder dalam waktu 5 menit. Jika demikian, dapat disimpulkan bahwa limbah tersebut mengandung cairan bebas.

### 4. **Uji Konsistensi Normal**

Berdasarkan ASTM C187-11, prosedur dari uji konsistensi normal dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Disiapkan benda uji semen *portland* masing-masing beratnya 300 gram serta air suling sebanyak 1000 ml.
2. Dituangkan 84 ml air suling ke dalam mangkok pengaduk, kemudian masukkan secara perlahan semen sebanyak 300 gram. Biarkan kedua bahan itu di dalam mangkok pengaduk selama 30 detik.
3. Kedua bahan tersebut diaduk selama 30 detik dengan kecepatan pengaduk  $140 \pm 5$  putaran per menit.
4. Pengadukan dilakukan selama 15 detik, lalu dihentikan, sementara itu bersihkan pasta yang menempel pada dinding mangkok pengaduk.
5. Pasta diaduk kembali selama 60 detik dengan kecepatan pengaduk  $285 \pm 10$  putaran per menit.
6. Dibuat bola dari pasta menggunakan tangan, lalu lemparkan 6 kali dari tangan kiri ke tangan kanan dan sebaliknya dengan jarak lemparan 15 cm.
7. Bola pasta yang terbentuk dipegang di salah satu tangan, sedang tangan lainnya memegang cetakan benda uji. Melalui lubang dasarnya, masukkan bola pasta ke dalam cetakan benda uji sampai terisi penuh dan rata.



- kelebihan pasta pada dasar cincin dengan sekali gerakan telapak tangan.
8. Letakkan dasar cincin pada pelat kaca. Ratakan permukaan atas pasta dengan sekali gerakan sendok perata dalam posisi miring dan haluskan permukaan pasta dengan ujung sendok perata tanpa mengadakan tekanan pada pasta.
  9. Cetakan benda uji yang berisi pasta diletakkan pada alat vicat, lalu sentuhkan ujung batang vicat pada bagian tengah permukaan pasta dan kencangkan posisi batang vicat
  10. Pembacaan skala diletakkan pada nol dan segera batang vicat dilepaskan sehingga dengan bebas dapat menembus permukaan pasta, setelah 30 detik catatlah besarnya penetrasi batang vicat; pekerjaan ini harus selesai dalam waktu 60 detik setelah pengadukan
  11. Pekerjaan 2 sampai dengan 9 diulangi sekurang-kurangnya 5 kali dan setiap kali dengan menggunakan alat uji baru dan kadar air yang berlainan. Untuk percobaan pertama dapat menggunakan air sebanyak 84 ml.
  12. Besarnya nilai konsistensi di hitung untuk setiap tahap, kemudian buatlah grafik yang menyatakan hubungan antara nilai konsistensi dengan penetrasi.

## **5. Uji Kadar Logam Cu**

Uji kadar Logam Cu dilakukan dengan menggunakan metode Neucuproine. Berdasarkan standard methods, prosedur dari metode Neucuproine sebagai berikut:

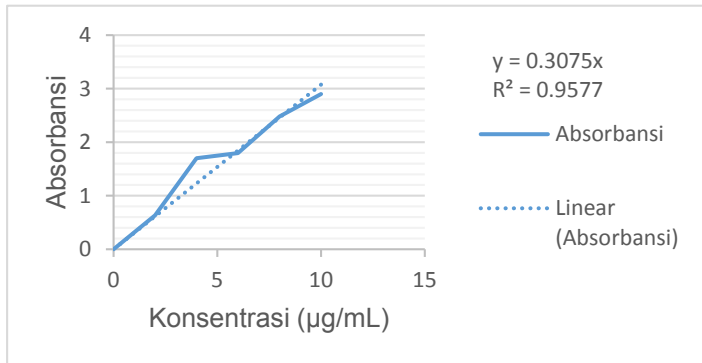
- a. Disiapkan reagen seperti:
  - Larutan stok Cu: ditimbang 200 mg Cu dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL. Ditambahkan 10 mL aquades dan 5 mL  $\text{HNO}_3$ . Setelah terjadi reaksi, dipanaskan hingga mendidih. Lalu, didinginkan dengan menambahkan 50 mL air. Larutan tersebut diencerkan dengan aquades hingga 1 L.  $1 \text{ mL} = 200 \mu\text{g Cu}$ .
  - Larutan standar Cu: Larutkan 50 mL larutan stok Cu hingga 500 mL dengan menggunakan aquades.  $1 \text{ mL} = 20 \mu\text{g Cu}$ .

- Asam Asetat
- Larutan *hydroxylamine-hydrochloride*: dilarutkan 50 g  $\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$  hingga 450 mL dengan menggunakan aquades.
- Larutan sodium sitrat: dilarutkan 150 g  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7.2\text{H}_2\text{O}$  dalam 400 mL aquades. Ditambahkan 5 mL larutan  $\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$  dan 10 mL reagen neocuproine. Diekstrak dengan menggunakan 50 mL  $\text{CHCl}_3$  untuk menghilangkan Cu dan membuang lapisan  $\text{CHCl}_3$ .
- Amonium hidroksida: dilarutkan 330 mL  $\text{NH}_4\text{OH}$  hingga 1 L dengan menggunakan aquades.
- Reagen neocuproine: dilarutkan 100 mg neocuproine ke dalam 100 mL methanol.
- Kloroform ( $\text{CHCl}_3$ )
- Methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )
- Asam Nitrat ( $\text{HNO}_3$ )
- HCl

b. Langkah kerja:

1. Diambil sampel sebanyak 100 mL ke dalam erlenmeyer 250 mL. Ditambahkan 1 mL  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan 5 mL  $\text{HNO}_3$ . Ditambahkan batu putih ke dalam erlenmeyer. Panaskan hingga volume berkurang.
2. Kemudian dinginkan dan ditambahkan 80 mL aquades. Dipanaskan kembali hingga volume sampel berkurang.
3. Setelah itu, sampel didinginkan. Sampel diencerkan hingga volume 100 mL. Lalu, diambil 50 mL sampel.
4. Ditambahkan 5 mL  $\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$  dan 10 mL larutan sodium sitrat. pH dicek antara 4 – 6 dengan pH meter. Jika pH dibawah 4, ditambahkan  $\text{NH}_4\text{OH}$ .
5. Selanjutnya, ditambahkan 10 mL reagen neocuproine dan 10 mL  $\text{CHCl}_3$ . Kocok selama 30 detik atau lebih hingga membentuk 2 lapisan. Diambil lapisan bawah dan ditambahkan dengan 10 mL  $\text{CHCl}_3$ . Lalu, hasil ekstrak keduanya digabung menjadi satu. Ditambahkan  $\text{CH}_3\text{OH}$ .

6. Diukur hasil ekstrak tersebut dengan spektrofotometer menggunakan panjang gelombang 450 nm. Perlu diingat, spektrofotometer di setting dengan blanko 50 mL.
7. Lalu hasil absorbansinya diplotkan pada kurva kalibrasi Cu dengan satuan  $\mu\text{g}$ .



8. Untuk memperoleh kadar Cu dalam satuan mg/L dilakukan perhitungan dengan rumus berikut ini:

$$\text{mgCu/L} = \frac{\mu\text{g Cu}}{\text{mL (air yang diambil ekstraksi)}}$$

## 6. Uji Kadar Logam Cr(VI)

Uji kadar Logam Cr(VI) dilakukan dengan menggunakan metode Neucuproine. Berdasarkan standard methods, prosedur dari metode colorimetri sebagai berikut:

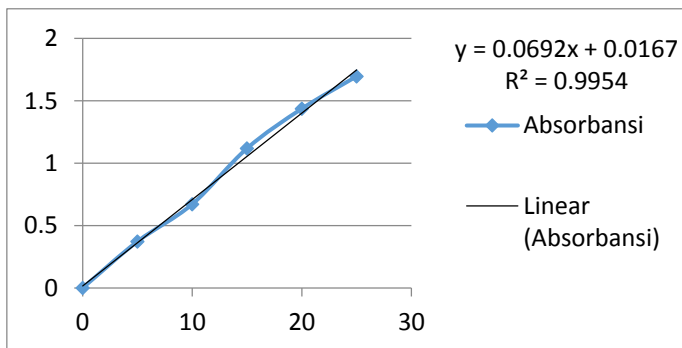
a. Disiapkan reagen seperti:

- Larutan stok kromium: dilarutkan 141,4 mg  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ke dalam 100 mL aquades (1 mL = 500  $\mu\text{g}$  Cr (VI)).
- Larutan standard kromium: dilarutkan 1 mL larutan stok kromium ke dalam 100 mL aquades (1 mL = 5  $\mu\text{g}$  Cr(VI)).
- Asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ )

- Asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 18 N dan 6 N
- Asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,2 N: dilarutkan 17 mL 6 N  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan aquades hingga mencapai 500 mL.
- Asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )
- Larutan diphenylcarbazine: dilarutkan 250 mg 1,5 diphenylcarbazine ke dalam 50 mL aseton, lalu disimpan dalam labu ukur dan ditutup dengan aluminium foil.
- Natrium hidroksida 1N: dilarutkan 40 g NaOH ke dalam 1 L aquades, kemudian disimpan dalam botol plastik.

b. Langkah kerja:

1. Diambil 5 mL sampel dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer.
2. Ditambahkan 5 tetes  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan diatur pH hingga  $2,0 \pm 0,5$  dengan menambahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
3. Dilarutkan dengan aquades hingga volumenya 100 mL.
4. Ditambahkan 2 mL diphenylcarbazine, kemudian didiamkan selama 5-10 menit untuk mendapatkan warna yang stabil.
5. Diukur absorbansi menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 540 nm.
6. Lalu hasil absorbansinya diplotkan pada kurva kalibrasi Cr (VI) dengan satuan  $\mu\text{g}$ .



7. Untuk memperoleh kadar Cr (VI) dalam satuan mg/L dilakukan perhitungan dengan rumus berikut ini:

$$\text{mg Cr (VI)/L} = \frac{\mu\text{g Cr (VI)}}{A}$$

## 7. Uji Kadar Logam Pb

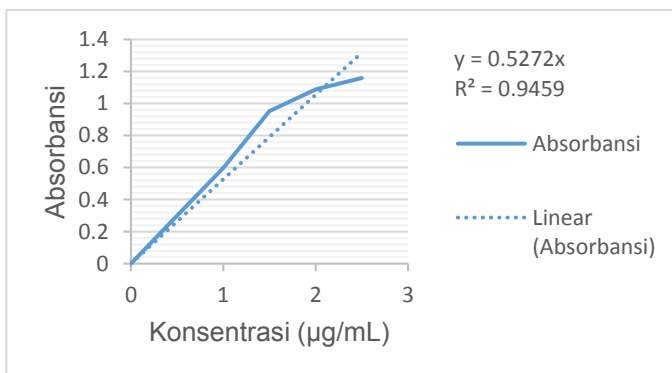
Uji kadar Logam Pb dilakukan dengan menggunakan metode Dithizone. Berdasarkan standard methods, prosedur dari metode Dithizone sebagai berikut:

a. Disiapkan reagen seperti:

- Larutan stok timbal: dilarutkan 0,1599 g  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  ke dalam 200 mL aquades. Kemudian, ditambahkan 10 mL  $\text{HNO}_3$  dan dilarutkan hingga 1000 mL dengan aquades (1 mL = 100  $\mu\text{g}$  Pb).
- Larutan standard timbal: dilarutkan 2 mL larutan stok timbal ke dalam 100 mL aquades (1 mL = 2  $\mu\text{g}$  Pb).
- $\text{HNO}_3$  1 + 4 ➡ dilarutkan 200 mL konsentrat  $\text{HNO}_3$  dengan aquades hingga volumenya menjadi 1000 mL.
- $\text{NH}_4\text{OH}$  1 + 9 ➡ dilarutkan 10 mL konsentrat  $\text{NH}_4\text{OH}$  dengan aquades hingga volumenya 1000 mL.
- Larutan citrate-cyanide reducing ➡ dilarutkan 400 g dibasic ammonium sitrat  $((\text{NH}_4)_2\text{HC}_6\text{H}_5\text{O}_7)$ , 20 g anhydrous sodium sulfit ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), 10 g hydroxylamine-hydrochloride ( $\text{NH}_2\text{OH}.\text{HCl}$ ), dan 40 g potassium sianida (KCN) ke dalam aquades dan dilarutkan dengan aquades hingga volumenya 1000 mL. Kemudian ditambahkan 2000 mL  $\text{NH}_3\text{OH}$  dan dikocok.
- Larutan stok dithizone: dilarutkan 100 mg dithizone ke dalam 50 mL  $\text{CHCl}_3$  menggunakan beaker glass 150 mL.
- Larutan dithizone: dilarutkan 100 mL larutan stok dithizone menjadi 250 mL menggunakan  $\text{CHCl}_3$ .
- Larutan spesial dithizone: dilarutkan 5 g anhydrous  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ke dalam 100 mL aquades.

b. Langkah kerja:

1. Sampel diambil 20 mL dan dicek pH. Apabila pH diatas 2, maka ditambahkan asam hingga pH 2.
2. Setelah itu, ditambahkan 20 mL 1 + 4 HNO<sub>3</sub>. Lalu, sampel disaring dengan menggunakan kertas whatman nomor 541. Kertas saring dibilas dengan menggunakan aquades 50 mL.
3. Ditambahkan 50 mL larutan amonia sitrat, kocok, dan didinginkan.
4. Ditambahkan 10 mL larutan dithizone, dikocok hingga homogen (terbentuk 2 lapisan). Kemudian, diambil lapisan kedua dan diukur menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 510 nm.
5. Lalu hasil absorbansinya diplotkan pada kurva kalibrasi Pb dengan satuan µg.



6. Untuk memperoleh kadar Pb dalam satuan mg/L dilakukan perhitungan dengan rumus berikut ini:

$$\text{mg Pb/L} = \frac{\mu\text{g Pb (in 10 mL dari kurva kalibrasi)}}{\text{mL sampel}}$$

## **LAMPIRAN B**

### **DOKUMENTASI HASIL PENELITIAN**



Gambar 1. Neraca analitik



Gambar 2. Alat vicat



Gambar 3. Mesin pengaduk pasta



Gambar 4. Cetakan benda uji



Gambar 5. Benda uji hasil proses S/S



(a)



(b)



(c)





(d)



(e)

Gambar 6. Kondisi benda uji setelah curing 28 hari dengan variasi semen:fly ash= (a) 100:0; (b) 90:10; (c) 80:20; (d) 70:30; (e) 60:40



Gambar 7. pH meter



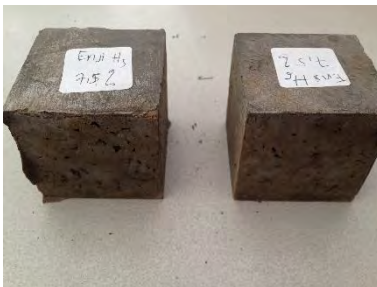
Gambar 8. Alat rotasi agitasi



(a)



(c)

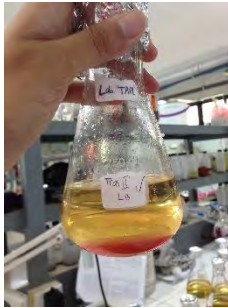


(b)



(d)

Gambar 9. Kondisi benda uji setelah curing 28 hari dengan variasi semen:fly ash= (a) 2,5% massa hidrokarbon; (b) 7,5% massa hidrokarbon; (c) 5% massa hidrokarbon; (d) 10% massa hidrokarbon



(a)



(b)



(c)

Gambar 10. Sampel yang akan diuji kadar: (a) Pb, (b) Cu, (c) Cr (VI) dengan spektrofotometer

## DAFTAR PUSTAKA

- Afrianita, R., Fitria, D., dan Sari, Putri R. 2010. **Pemanfaatan Fly Ash Batubara sebagai Adsorben dalam Penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) dari Limbah Cair Domestik (Studi Kasus: Limbah Cair Hotel Inna Muara, Padang).** Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas 1 (33): 81-93
- Apriliani, A. 2010. **Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr(VI), Cu, dan Pb dalam Air Limbah.** Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah
- Ardha, N., Aziz, M., dan Tahli, L. 2006. **Karakterisasi Abu Terbang PLTU Suralaya dan Evaluasinya untuk Refraktori Cor.** *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* (36): 1-8
- Ariansyah, Kiki A., Yulianti, K., dan R.J, Siti Hanggita. 2012. **Analisis kandungan Logam Berat (Pb, Hg, Cu, dan As) pada Kerupuk Kemplang di Desa Tebing Gerinting Utara, Kecamatan Indralaya Selatan, Kabupaten Ogan Ilir.** Program Studi Teknologi Hasil Perikanan Universitas Sriwijaya 1 (1): 69-77
- ASTM Standards. 2002. **Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm Cube Specimens).** ASTM International, West Conshohocken
- ASTM Standards. 1994. **Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement.** ASTM International, West Conshohocken
- Badan Standarisasi Nasional. 1990. SNI 03-1974-1990: **Metode Pengujian Kuat Tekan Beton.** BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. SNI 15-2049-2004: **Semen Portland.** BSN
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 1972-2008: **Cara Uji Slump.** BSN
- Dermawan, M.H. 2010. **Model Kuat Tekan Proporsi Abu terbang dan Semen untuk Bahan Dasar Batu Cetak.** *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan* 12 (1): 59-70

- Factsha, R., Mungok, C.D., dan Herwani. 2008. **Studi Bio Admixture untuk Bahan Mortar Mutu Normal**. *Jurnal Teknik Sipil Untan*
- Gailius, A., Vacenovska, B., dan Drochytka, R. 2010. **Hazardous Waste by Solidification/Stabilization Method**. *Material Science* 16 (2): 165-169
- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No 03 Tahun 1995 tentang **Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**. Pemerintah Republik Indonesia
- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No 04 Tahun 1995 tentang **Tata Cara Persyaratan Penimbunan Hasil Pengolahan, Persyaratan Lokasi Bekas Pengolahan dan Lokasi Bekas Penimbunan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**. Pemerintah Republik Indonesia
- Khan, M.A., Shrivastava. 2012. **Solidification-Stabilisation of Zinc Waste Cake fr Abatement of Hazardous Potential**. *International Journal of Advanced Engineering Technology* 3 (3): 29-31
- Leonard, S.A. dan Stegmann, Julia A. 2010. **Stabilization/Solidification of Petroleum Drilling Cuttings: Leaching Studies**. *Journal of Hazardous Materials* 174: 484-491
- Malviya, R. dan Chaudhary, R. 2006. **Factors Affecting Hazardous Waste Solidification/Stabilization: A Review**. *Journal of Hazardous Materials B* 137: 207-276
- Marzuki, P.F. dan Jogaswara, E. 2007. **Potensi Semen Alternatif dengan Bahan Dasar Kapur Padalarang dan Fly ash Suralaya untuk Konstruksi Rumah Sederhana**. *Seminar Nasional "Sustainability dalam Bidang Material, Rekayasa, dan Konstruksi Beton*
- Martuti, N.K.T. 2012. **Kandungan Logam Berat Cu dalam Ikan Bandeng, Studi Kasus di Tambak Wilayah Tapak Semarang**. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*: 89-94

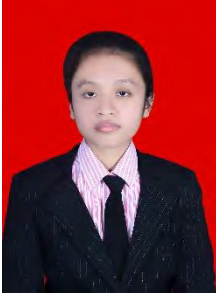
- Minocha, A.K., Jain, N., dan Verma, C.L. 2003. **Effect Of Organic Materials On The Solidification Of Heavy Metal Sludge**. *Construction and Building Materials* 17: 77-61
- Mughnie, H. 2010. **Studi Banding Pengaruh Faktor Air Semen dan Kadar Fly Ash terhadap Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Ringan**. *Jurnal Konstruksia* 2 (1)
- Munir, M. 2008. Thesis. **Pemanfaatan Abu Batubara (Fly Ash) untuk Hollow Block yang Bermutu dan Aman Bagi Lingkungan**. Jurusan Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro
- Nugroho, A.Z. dan Widodo, S. 2010. **Efek Perbedaan Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Ringan Agregat Breksi Batu Apung**. *Jurnal Teknik Sipil*. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Universitas Negeri Yogyakarta
- Nurhasni, Salimin, Z., dan Nurifitriyani, I. 2013. **Pengolahan Limbah Industri Elektroplating dengan Proses Koagulasi Flokulasi**. *Prosiding Seminar FMIPA Universitas Lampung*: 305-314
- Paria, S., dan Yuet, K. 2006. **Solidification/Stabilization of Organic and Inorganic Contaminants Using Portland Cement: A Literature Review**. *Environmental Reviews* 14: 217-255
- Peraturan Pemerintah RI no 18 tahun 1999 tentang **Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**
- Peraturan Pemerintah RI no 85 tahun 1999 tentang **Perubahan Atas Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun**
- Purwaningsih, D. 2009. **Adsorpsi Multi Logam Ag (I), Pb (II), Cr (III), Cu (II), dan Ni (II) pada Hibrida Etilendiamino-Silika dari Abu Sekam Padi**. *Jurnal Penelitian Saintek* 14 (1): 59-76
- Ritayani, K. 2014. **Tugas akhir. Stabilisasi Limbah Mengandung Cu dengan Campuran Semen Portland dan Bentonit**
- Rommel, E. dan Rusdianto, Y. 2012. **Pemakaian Fly-Ash sebagai Cementitious pada Beton Mutu Tinggi dengan Steam Curing (The Use of Fly-Ash as Cementitious on High Strength Concrete with Steam Curing)**. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang

- Rusyandi, K., Mukodas, J., dan Gunawan, Y. 2012. **Perancangan Beton Self Compacting Concrete (Beton Memadat Sendiri) dengan Penambahan Fly ash dan Structuro.** *Jurnal Konstruksi* 10 (1)
- Sasongko, D. P. dan Tresna, W. P. 2010. **Identifikasi Unsur dan Kadar Logam Berat pada Limbah Pewarna Batik dengan Metode Analisis Pengaktifan Neutron.** *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi TELAAH* 27: 22-27
- Shalahuddin, M. 2009. **Pengaruh Penambahan Fly Ash Batu Bara Campur Kayu pada Kuat Tekan Beton.** *Jurnal Sains dan Teknologi* 8 (2): 58-65
- Singhal, A., Prakash, S., dan Tewari, V.K. 2012. **A study on Utilization of Treated Spent Liquor Sludge with Fly Ash by Making Cement Concrete Hollow Cavity Bricks.** *International Journal of Environmental Protection* 2 (9): 17-21
- Suarnita, I.W. 2011. **Kuat Tekan Beton dengan Aditif Fly Ash Ex. PLTU Mpanau Tavaeli.** *Jurnal SMARTek* 9 (1): 1-10
- Sudarmaji, Mukono, J., dan Corie, I.P. 2006. **Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya Terhadap Kesehatan.** *Jurnal Kesehatan Lingkungan* 2 (2): 129-142
- Suprihatin, E.A. 2010. **Biapsorpsi Logam Cu (II) dan Cr(VI) (VI) pada Limbah Elektroplating dengan menggunakan Biomasa PHanerochaete Chrysosporium.** Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri UPN "Veteran: Jawa Timur: 250-254
- Syamsuddin, R., Wicaksono, A., dan Fazairin, M.F. 2011. **Pengaruh Air Laut pada Perawatan (Curing) Beton Terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi Beton dengan Variasi Faktor Air Semen dan Durasi Perawatan.** *Jurnal Rekayasa Sipil* 5 (1): 68-75
- Trihadiningrum, Y. 2000. **Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun.** Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS
- USEPA. 1992. **Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) Method.** *Test Methods for Evaluating Solid*

- Waste, Physical/Chemical Methods*. EPA Publication SW-846, Washington.
- USEPA. 2005. **Municipal Solid Waste in United State**. U.S. Environmental Protection Agencies
- USEPA. 2004. **Paint Filter Liquid Test**. U.S. Environmental Protection Agencies
- Utomo, M.P. dan Laksono, E.W. 2007. **Kajian Tentang Proses Solidifikasi/Stabilisasi Logam Berat dalam Limbah dengan Semen Portland**. Jurusan Pendidikan Kimia, FMIPA, UNY 103-109
- Utomo, M.P. 2008. **Efek Logam Berat Terhadap Sifat Semen pada Proses Solidifikasi/Stabilisasi Limbah Berbahaya**. *Seminar Nasional Kimia*. Jurusan Pendidikan Kimia, UNY: 1-9
- Widaningrum, Miskiyah, dan Suismono. 2007. **Bahaya Kontaminasi Logam Berat dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya**. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian* 3
- Wijaya, D. 2005. **Skripsi. Pengaruh Fly Ash dan pH terhadap Kestabilan Benda Hasil Proses Solidifikasi Limbah Cr(VI)**. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS-Surabaya
- Wiryasa, N.M.A. dan Sudarsana, I.W. 2009. **Pemanfaatan Lumpur Lapindo sebagai Bahan Substitusi Semen dalam Pembuatan Bata Beton Pejal**. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 3 (1): 39-46
- Yilmaz, O., Cokca, E., Unlu, K. 2003. **Comparison of Two Leaching Tests to Assess the Effectiveness of Cement-Based Hazardous Waste Solidification/Stabilization**. *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 27: 201-2012
- Yuliani, E. 2011. **Laporan Khusus Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Beracun (B3) di PT. Bayer Indonesia-Bayer Cropscience, Surabaya Plant**.
- Zhang, J., Li, J., Thring, R.W., Hu, X., dan Song, X. 2012. **Oil Recovery From Refinery Oil Sludge Via Ultrasound and Freeze/Thaw**. *Journal of Hazardous Materials*: 195-203



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Bekasi, pada tanggal 28 Juni 1993 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis memulai pendidikan di TK Mutiara Bekasi pada tahun 1997, kemudian melanjutkan pendidikan dasar di SD Marsudirini Bekasi pada tahun 1999. Penulis melanjutkan pendidikan di SMP Marsudirini Bekasi mulai 2005-2008, lalu melanjutkan pendidikan ke SMA Marsudirini Bekasi pada tahun 2008-2011. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikannya dibangku perkuliahan sebagai mahasiswa di ITS. Penulis melanjutkan kuliah di jurusan Teknik Lingkungan di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Di masa kampus, penulis aktif dalam kegiatan *training* dan kerohanian. Kegiatan *training* yang diikuti penulis saat menjadi mahasiswa adalah training ISO 9001:2008, OHSAS 18001:2007, dan ISO 14001:2004. Kegiatan kerohanian yang diikuti penulis saat menjadi mahasiswa adalah anggota pengurus PMK ITS tahun 2014-2015. Penulis pernah mengikuti kerja praktek di Pertamina Hulu Energi *Onshore North West Java*, selama 1 bulan di tahun 2014 dan magang di PT. Astra Daihatsu Motor selama 1 bulan di tahun 2014. Penulis terbuka untuk diskusi melalui email [vchrislundi@yahoo.com](mailto:vchrislundi@yahoo.com).